

С. Т. КОЛАЧ

БЫТОВЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ И КОНДИЦИОНЕРЫ

*Допущено
Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений
среднего профессионального образования*

УДК 621.56/.59
ББК 31.392я723
К60

Рецензенты:

доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой
«Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий торговли и общественного
питания» Московского технологического колледжа питания Российского
государственного торгово-экономического университета *В. Я. Давыдов*;
директор Московского технологического колледжа *Е. А. Артеменко*;
преподаватель Московского пищевого колледжа № 33 *Н. Ф. Рудаков*

Колач С. Т.

К60 Бытовые холодильники и кондиционеры: учеб. пособие
для студ. сред. проф. образования / С. Т. Колач. — М. : Изда-
тельский центр «Академия», 2006. — 240 с.
ISBN 5-7695-2360-3

Рассмотрены физические основы искусственного охлаждения, прин-
цип действия и конструкция различных типов бытовых холодильников
и кондиционеров. Описаны холодильные агрегаты и их основные эле-
менты — компрессоры, конденсаторы, испарители, капиллярные труб-
ки, электрооборудование и приборы автоматики. Особое внимание уделе-
но вопросам диагностики холодильных агрегатов, определения неис-
правностей бытовых холодильников и кондиционеров, способам их ус-
транения и используемых оборудовании, инструментах и приборах.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.56/.59
ББК 31.392я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Колач С. Т., 2006
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2006
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2006

ISBN 5-7695-2360-3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Физические основы искусственного охлаждения	9
1.1. Пути получения холода	9
1.2. Принцип действия компрессионного холодильника	10
1.3. Хладагенты и их свойства	12
1.4. Холодильные смазочные масла и их свойства	16
1.5. Хладагенты и масла для замены R12, R22 и R502	17
Глава 2. Общие сведения о бытовых компрессионных холодильниках	20
2.1. Классификация бытовых холодильников и морозильников	20
2.2. Типы и конструкции бытовых холодильников	22
2.3. Циркуляция воздуха в камерах холодильника	29
Глава 3. Холодильные агрегаты и шкафы компрессионных бытовых холодильников и морозильников	32
3.1. Отличительные особенности герметичной холодильной машины ...	32
3.2. Конструкции холодильных агрегатов	33
3.3. Циклическая работа агрегата бытового холодильника	40
3.4. Устройство холодильного шкафа	42
3.5. Теплоизоляция	43
3.6. Дверные уплотнители и затворы	44
Глава 4. Компрессоры бытового холодильного оборудования	49
4.1. Назначение и отличительные особенности компрессоров	49
4.2. Конструкции и принципы работы герметичных компрессоров	50
4.3. Основные показатели работы компрессоров	59
Глава 5. Теплообменные аппараты, регулирующие устройства, фильтры-осушители	62
5.1. Теплообменные аппараты	62
5.2. Регулирующие дроссельные устройства	69
5.3. Фильтры-осушители	70
Глава 6. Электрооборудование и приборы автоматики бытовых холодильников	72
6.1. Назначение электрооборудования и приборов автоматики	72
6.2. Электродвигатели компрессоров	73
6.3. Проходные электрические контакты	74
6.4. Электрические нагреватели	75
6.5. Вентиляторы и осветительная аппаратура	77
6.6. Приборы автоматики	78

6.7. Электрические схемы холодильников и морозильников	95
Глава 7. Технические параметры работы компрессионного холодильника	104
7.1. Температура в камерах холодильника	104
7.2. Продолжительность цикла, количество циклов в 1 ч, коэффициент рабочего времени	105
7.3. Потребляемая мощность, расход электроэнергии	106
7.4. Уровень шума	107
7.5. Условия эксплуатации и их влияние на работу холодильника	108
Глава 8. Диагностирование работы холодильного агрегата	111
8.1. Условия проверки параметров работы холодильника	111
8.2. Показатели нормальной работы холодильного агрегата	111
8.3. Дефектация холодильников и морозильников	112
Глава 9. Неисправности бытовых компрессионных холодильников, способы их устранения	122
9.1. Плохое уплотнение дверного проема	122
9.2. Повышенный шум в работе (стуки, вибрация)	123
9.3. Утечка тока на корпус	123
9.4. Быстрое нарастание снеговой «шубы»	124
9.5. Работа холодильного агрегата без отключений при наличии холода	125
9.6. Работа холодильного агрегата без отключений при отсутствии холода	126
9.7. Отказ холодильного агрегата	126
9.8. Работа холодильного агрегата с малым количеством циклов	127
9.9. Работа холодильного агрегата с большим количеством циклов	128
9.10. Запахи в холодильной камере	129
Глава 10. Технология ремонта компрессионных холодильных агрегатов	130
10.1. Основные требования к ремонту	130
10.2. Сварка и пайка соединений холодильного агрегата	132
10.3. Влияние влаги на работу холодильного агрегата	136
10.4. Влияние воздуха на работу холодильного агрегата	136
10.5. Вакуумирование и зарядка холодильных агрегатов хладагентом	137
10.6. Технические требования к отремонтированным холодильникам	139
Глава 11. Абсорбционные и термоэлектрические бытовые холодильники	141
11.1. Принцип работы абсорбционного холодильного аппарата	141
11.2. Конструкция холодильного агрегата абсорбционного типа	144
11.3. Электрические схемы и приборы автоматики абсорбционных холодильников	147
11.4. Параметры работы абсорбционных холодильников	148
11.5. Основные неисправности абсорбционных холодильников, способы их устранения	150
11.6. Принцип работы термоэлектрического холодильника	152

11.7. Устройство и конструкции термоэлектрических холодильников	155
Глава 12. Бытовые кондиционеры	158
12.1. Общие сведения о кондиционировании воздуха, функциональные особенности бытовых кондиционеров	158
12.2. Виды бытового кондиционерного оборудования	164
12.3. Принцип работы бытовых кондиционеров	174
12.4. Проектирование систем кондиционирования, типичные неисправности в работе кондиционеров, методы их обнаружения и устранения	183
Глава 13. Автомобильные кондиционеры	188
13.1. Назначение и конструкция автомобильного кондиционера, работа отдельных элементов системы	188
13.2. Управление системой вентиляции и кондиционирования автомобиля	200
13.3. Диагностика характерных неисправностей автомобильных кондиционеров, способы их устранения	206
Глава 14. Оборудование, инструмент и приборы для обслуживания и ремонта холодильной техники	213
14.1. Специальный ручной инструмент	213
14.2. Оборудование для вакуумирования и зарядки системы хладагентом	217
14.3. Аппаратура для сварки и пайки	223
14.4. Присоединительная арматура для кондиционерного оборудования	224
14.5. Контрольно-измерительные устройства	225
Глава 15. Требования безопасности при эксплуатации и ремонте бытовых холодильников и кондиционеров	229
15.1. Общие положения	229
15.2. Меры первой помощи при воздействии хладагента и поражении электрическим током	231
Тесты	233
Ответы на тесты	235
Список литературы	236

ВВЕДЕНИЕ

Холодильные машины стали применяться достаточно широко в конце XIX в. Предпосылкой для этого послужило создание трех основных устройств, необходимых для производства холода. Это компрессионная машина Д. Перкинса, разработанная в 1834 г., машина для сжатия и расширения воздуха Д. Горри, созданная в 1844 г., и абсорбционная аммиачная машина Ф. Карре, построенная в 1859 г.

Началом широкого практического использования холодильных машин следует считать 1874 г., когда немецкий ученый К. Линде изготовил первую промышленную модель аммиачной компрессионной холодильной машины.

Прогресс в холодильной технике был обусловлен целым рядом экономических проблем, в частности необходимостью обеспечения сохранности скоропортящихся продуктов при транспортировании их от места заготовки до места потребления.

Учитывая насущную необходимость государственной поддержки для развития холодильной техники, в решениях I Международного конгресса по холодильному делу, состоявшегося в 1908 г. в Париже, было отмечено: «Имея в виду блага и выгоды, которые могут принести земледелию, торговле и промышленности всех стран применение и развитие холодильного дела, Конгресс просит общественные власти всех стран облегчить устройство холодильных приспособлений в домашнем, сельском и мелком промышленном хозяйстве и, в частности, ограничить до возможного минимума регламентацию и формальности относительно пользования холодильными машинами».

Первый домашний холодильник с машинным охлаждением появился в 1910 г. в США, а годом позже американская фирма «Дженерал электрик» приступила к производству холодильной машины «Одифрен» для домашних и торговых шкафов. Машина оригинальной конструкции была названа именем ее создателя, французского учителя физики М. Одифрена. В состав машины входил герметичный компрессор, движущиеся части которого были заключены в неразъемный кожух. Вместо ручного регулирующего вентиля использовалось дроссельное устройство постоянного сечения — капиллярная трубка или калиброванный насадок. В качестве холодильного агента использовался сернистый ангидрид. К достоинствам машины можно отнести хороший теплообмен,

отсутствие сальников и клапанов, легкость обслуживания (1—2 раза в год менялись приводные ремни, 2 раза в год смазывались 2 подшипника). Машины «Одифрен» выпускались вплоть до 1928 г.

Первый бытовой холодильник с автоматическим регулированием температуры в камере был выпущен в США в 1918 г. фирмой «Келвинейтор» в количестве 67 шт. К 1925 г. в США было выпущено уже 64 тыс. холодильников с машинным охлаждением. Первые модели холодильников были довольно громоздкими сооружениями, объем которых примерно в 5 раз превышал объем камеры для хранения продуктов, а площадь основания равнялась 1 м². Деревянный шкаф с пробковой изоляцией имел толщину стенок 140 мм. В качестве хладагентов использовался достаточно опасный для потребителей сернистый ангидрид или аммиак. Вал компрессора приводился во вращение от электродвигателя посредством ременной передачи. В результате постоянного совершенствования моделей удалось достичь определенных успехов при техническом обслуживании аппаратов: на один холодильник в среднем приходилось 1,5 посещения обслуживающего персонала в год, а электродвигатель достаточно было смазывать 1 раз в год.

В 1926 г. специалистами фирмы «Дженерал электрик» была создана принципиально новая конструкция — герметичная холодильная машина «Монитор Топ».

Одним из определяющих этапов развития конструкций холодильных аппаратов бытового назначения явилась разработка в конце 1920-х гг. цельнометаллического шкафа, состоящего из двух вставленных один в другой сварных стальных корпусов, между стенками которых укладывалась тепловая изоляция.

В 1929 г. сотрудниками фирмы «Фриджидер» были синтезированы новые холодильные вещества — фреоны, что послужило толчком для дальнейшего бурного развития холодильной техники. С середины 1930-х гг. основным хладагентом, вытеснившим хлорметил, стал R12.

В начале 1930-х гг. американская фирма «Фриджидер» освоила производство ротационных компрессоров.

Бум в производстве холодильников привел к появлению множества разнообразных по конструкции моделей, в которых можно найти зачатки почти всех технических решений, получивших развитие в 1950—1960-х гг.

В 1930 г. фирма «Фриджидер» начала выпускать новый тип холодильника — двухкамерный, не получивший в те годы распространения.

Несколько позднее фирма «Триколд рефрижерейшен» приступила к изготовлению двухкамерных холодильников, в которых низкотемпературная и плюсовая камеры охлаждались двумя последовательно соединенными испарителями (по одному в каждой камере) и одним компрессором.

В 1931 г. фирма «Сервал» (США) впервые применила в герметичных машинах в качестве регулирующего органа капиллярную трубку, установка которой позволяла отказаться от значительно более сложных поплавкового вентиля и ресивера, а также от разгрузочного приспособления в компрессоре. Использование капиллярной трубки позволило упростить конструкцию агрегата и существенно повысить надежность.

В 1930-е гг. появились холодильники настенные и встроенные в кухонную мебель.

К 1940-м гг. установились два варианта расположения холодильного агрегата: первый вариант — компрессор и конденсатор смонтированы внизу, под холодильной камерой (в этом случае применялся обычно пластинчатый конденсатор); второй — конденсатор, изготовленный из труб, припаянных к листу, устанавливался на задней стенке шкафа.

В 1957 г. в США появляются первые двухкамерные холодильники с необмерзающими стенками (No Frost).

1960-е гг. ознаменовались освоением новых конструкционных и теплоизоляционных материалов (пластика АБС и пенополиуретана), разработкой конструкций магнитного уплотнения дверей холодильника, появлением высокооборотных мотор-компрессоров.

Во второй половине 1960-х гг. был внедрен процесс изготовления алюминиевых прокатно-сварных испарителей с односторонним раздутием каналов — процесс z -бонд.

В начале 1970-х гг. рядом ведущих японских и европейских производителей было освоено производство холодильников с принудительной циркуляцией воздуха.

Первые многофункциональные многокамерные холодильники с льдогенераторами и раздачей холодной воды и льда через дверь появились в США в 1973 г.

В Японии в 1978 г. осваиваются неразборные шкафы с запененными в теплоизоляцию испарителем и конденсатором, что резко снизило массу и увеличило коэффициент использования объема; в 1983 г. — высокоэкономичные компактные роторные мотор-компрессоры с материалоемкостью в 3 раза ниже, чем у кривошипно-шатунных. Уменьшение габаритных размеров позволило увеличить полезную емкость холодильника на 9 л, а расход электроэнергии снизить на 40... 60 %. Были разработаны гибкие технологии с возможностями быстрой переналадки оборудования и перехода с модели на модель за десятки минут.

В 1991 г. появились холодильники с возможностью открывания дверей в любую сторону без перенавески.

В 1990-х гг. в США, Японии, в странах Западной Европы внедряются микропроцессоры для управления работой бытовых холодильников, осуществляющие раздельное регулирование температур в камерах, цифровую индикацию температуры, защиту от конден-

сации влаги на поверхностях шкафа, контроль замораживания и энергопотребления, диагностики отказов. Некоторые модели оснащены синтезаторами речи. В этом случае голос предупреждает владельца о нарушении режимов работы холодильника и неправильной эксплуатации.

В настоящее время осваиваются опытные образцы холодильников, работающих на солнечной энергии, а также холодильников, использующих естественный холод, поскольку становится невыгодным расходовать дефицитные энергоресурсы для искусственного охлаждения продуктов до плюсовых температур при температуре вне помещения ниже 0 °С. Встроенные в подоконные и стенные ниши холодильные агрегаты позволяют использовать естественный «холод» окружающей среды и тем самым способствуют активному энергосбережению.

В США и Японии разработаны концепции домов будущего, в которых предусмотрена возможность полного автоматизированного приготовления пищи по запрограммированному меню. Естественно, что при этом должны использоваться и другие конструкции бытовых холодильников и более совершенные технологии хранения продуктов.

Применение систем управления с так называемой «размытой» логикой принятия решений (системы Fuzzy Control) помогут держать под контролем многочисленные параметры микроклимата в такой сложной системе, как холодильник/морозильник.

Ведущие мировые компании-производители Electrolux и Eriksson объединяют свои усилия в области разработки «интеллектуального» холодильника. Этот агрегат помимо самых последних достижений холодильного производства имеет на внешней стороне двери жидкокристаллический монитор. В нижней части экрана располагаются клавиши управления компьютером, который позволит контролировать температурный режим, загрузку продуктами и периодичность открывания рабочих камер. Кроме того, он обеспечивает возможность включения холодильника наряду с другими домашними электробытовыми приборами в локальную сеть с самостоятельным определением приоритетов энергопотребления и обращением по сети Интернет к торговым и кредитным организациям для заказа и оплаты доставляемых продуктов, а также к сервисным службам в случае сбоя в работе или выхода из строя аппарата.

Современную жизнь довольно трудно себе представить не только без холодильника, но и без кондиционера. Зачастую, особенно в летний период, температура окружающего воздуха поднимается до довольно высоких значений. Во многих регионах климат континентальный, для него характерны большие суточные перепады температуры. А это очень тяжело переносит организм человека.

Самочувствие и работоспособность во многом зависят от воздушной среды. Мы не можем повлиять на воздушное простран-

ство, на загазованность атмосферы городов. Но позаботиться о чистом воздухе в помещении вполне в наших силах.

Оптимальными параметрами воздушной среды в помещениях, где человек чувствует себя комфортно, в холодный период года считаются: температура 18...22 °С, относительная влажность воздуха 30...60 %, скорость движения воздуха до 0,2 м/с. В летний сезон температура в помещении должна составлять 20...25 °С, влажность воздуха — 30...70 %, скорость движения воздуха — до 0,3 м/с. Такие параметры воздушной среды способны поддерживать только современные системы кондиционирования.

Началом истории развития кондиционеров можно считать 1815 г., когда француз Ж.Шабаннес получил британский патент на метод «кондиционирования воздуха и регулирования температуры в жилищах и других зданиях». Однако первый рабочий образец кондиционера был продемонстрирован в Нью-Йорке У.Карриером лишь в 1902 г. Изобретение Карриера было предназначено не для создания комфорта, а для борьбы с влажностью в помещении типографии, ухудшавшей качество печати.

В 1924 г. система кондиционирования была установлена в одном из универмагов Детройта (США).

Первый бытовой кондиционер раздельного типа был выпущен компанией General Electric в 1929 г.

Благодаря появлению безопасного хладагента в 1931 г. появился первый оконный моноблок.

На рубеже 1960-х гг. лидерство в области разработок климатических систем перешло от США к Японии.

В 1958 г. компания Daikin разработала первый тепловой насос. Компания Toshiba в 1961 г. наладила серийное производство сплит-систем, разделенных на два блока. В наше время подобная конструкция стала самой распространенной в мире.

В 1969 г. компания Daikin выпустила кондиционер, разделенный на несколько блоков.

В 1981 г. появилась первая сплит-система с плавной регулировкой производства компании Toshiba.

Бум на кондиционеры в Европе и Америке начался в конце 1980-х гг., причем на бытовые системы в этих регионах приходится соответственно 50 и 70 % всей продаваемой техники.

Ведущие мировые производители климатического оборудования из Японии, США, Франции, Кореи и других стран производят широкую гамму кондиционеров — от малогабаритных, для небольших комнат площадью около 15 м², до многоблочных, для многокомнатных квартир и коттеджей, а также для ресторанов, больших торговых залов и зрелищных заведений. Микропроцессор контролирует оборудование, обеспечивая при правильной настройке оптимальные параметры состояния среды в помещениях при минимальных энергозатратах. Такой микропроцессор может быть

снабжен устройством самодиагностики, а также системой дистанционного управления для облегчения обслуживания.

Современные системы, гибкие в управлении, позволяют создавать свой микроклимат поэтапно или поэтапно даже в небольших помещениях, т.е. поддерживают разные параметры воздуха, например в демонстрационных и конференц-залах, торговых помещениях, складах производственного оборудования, кабинетах и комнатах в пределах одного здания.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

1.1. Пути получения холода

Любое физическое тело, имеющее более высокую температуру, чем окружающая среда, охлаждается естественным путем. В этом случае теплота от тела будет рассеиваться в окружающую среду, а температура тела будет понижаться до тех пор, пока не наступит тепловое равновесие, т. е. температура тела не сравняется с температурой окружающей среды. Дальнейшее понижение температуры тела возможно только искусственным путем.

Искусственными источниками холода для поддержания в охлаждаемом объекте температуры ниже температуры окружающей среды служат холодильные машины.

Для получения искусственного холода может быть применен любой физический процесс, связанный с отводом теплоты. С этой точки зрения одними из наиболее эффективных являются процессы, сопровождаемые изменением агрегатного состояния вещества, т. е. переходом вещества из одного состояния в другое.

В основе машинных способов охлаждения лежат процессы фазового перехода, протекающие с поглощением значительного количества тепла от охлаждаемого тела, в частности процессы кипения или испарения жидкостей, а также плавления и сублимации твердых тел. Сублимацией называется процесс перехода твердого вещества непосредственно в газообразное состояние.

В основе принципов действия бытовых холодильных устройств лежат физические круговые процессы, осуществляемые над рабочими телами — холодильными агентами или электрическим током с помощью комплекса технических элементов — холодильной машины. За счет подведенной электрической энергии в холодильной машине происходит перенос теплоты от источника низкой температуры (холодильной камеры) к источнику высокой температуры (окружающей среде).

Помимо процессов фазового перехода искусственное охлаждение может быть основано и на других физических принципах, например, при использовании процесса дросселирования (эффект Джоуля — Томсона) или термоэлектрического эффекта Ж. Пельтье.

Дросселирование — это процесс понижения давления потока жидкости, пара или газа при прохождении через суженное отверстие (капиллярную трубку, вентиль, пористую среду и др.), сопровождающийся изменением температуры.

Эффект Пельтье заключается в том, что при прохождении электрического тока по цепи из двух разнородных проводников или полупроводников на спаях наблюдаются разные по величине температуры, т.е. один спай имеет более высокую температуру (теплый спай), чем другой (холодный спай).

В бытовых холодильных устройствах применяют паровые машины (компрессионные и абсорбционные) и агрегаты, действие которых основано на использовании термоэлектрического эффекта.

В 2001 г. в Технологическом центре астронавтики в г. Медисоне (США) были проведены испытания новой холодильной установки, использующей *магнитокалорический эффект* (нагрев рабочего вещества в магнитном поле и его охлаждение при удалении из поля).

В качестве рабочего вещества использовали элементы из металла гадолиния, которые при вращении вокруг оси попеременно подвергаются действию постоянного магнита. Установка включает в себя два теплообменника: «холодный» и «теплый», а также насос для подачи хладоносителя (воды). В перспективе магнитокалорические установки составят конкуренцию парокомпрессионным в бытовых холодильниках, кондиционерах и т.д. при условии снижения стоимости магнитов и рабочего вещества.

1.2. Принцип действия компрессионного холодильника

В бытовых холодильниках и морозильниках компрессионного типа применяются различные по габаритным размерам и конфигурации конструктивных элементов компрессионные машины — холодильные агрегаты, однако принцип их работы по созданию холодильного эффекта один и тот же. В целях надежного сохранения рабочего тела — хладагента — в системе холодильные агрегаты конструктивно выполняются герметичными.

Компрессионный холодильный агрегат (рис. 1.1) состоит из следующих основных элементов: герметичного мотор-компрессора, конденсатора, испарителя, дроссельного устройства (капиллярной трубки) и системы трубопроводов. В качестве вспомогательного элемента в контур включается фильтр-осушитель.

Хладагент циркулирует по замкнутому контуру, периодически изменяя свое агрегатное состояние, т.е. при определенных температурах и давлениях переходит из одного физического состояния в другое.

Рис. 1.1. Компрессионный холодильный агрегат:

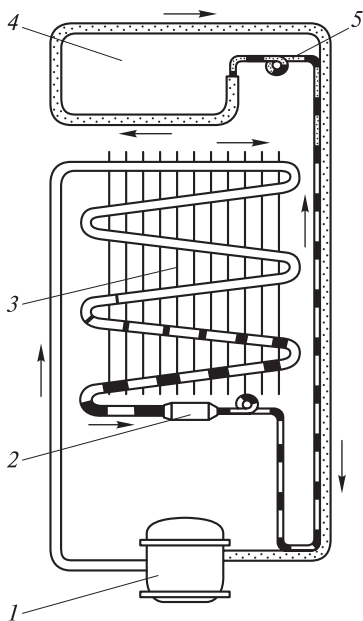
1 — мотор-компрессор; 2 — фильтр-осушитель; 3 — конденсатор; 4 — испаритель; 5 — капиллярная трубка

При работе мотор-компрессора пары хладагента отсасываются из испарителя по всасывающей трубке в кожух компрессора, а оттуда в цилиндр. Компрессор сжимает пары, увеличивая при этом давление от давления всасывания $P_{\text{вс}}$ до давления нагнетания $P_{\text{н}} = 0,6 \dots 1,1$ МПа и температуры $t_{\text{н}} = 70 \dots 90$ °С. Здесь и далее численные значения приводятся для холодильника, работающего на R12.

Столь значительная температура паров обусловлена тем, что они интенсивно отнимают теплоту, выделяемую электродвигателем, тем самым охлаждая его обмотки.

Сжатые горячие пары хладагента поступают в конденсатор, где под действием окружающего воздуха, температура которого намного ниже, при постоянном давлении конденсации $P_{\text{к}}$ и температуре конденсации на $10 \dots 20$ °С выше окружающей, т. е. $t_{\text{к}} = t_{\text{ок.среды}} + (10 \dots 20$ °С), охлаждаются, а затем конденсируются, накапливаясь в конечных витках змеевика конденсатора.

Жидкий хладагент из конденсатора направляется через фильтр в капиллярную трубку, где происходит процесс дросселирования. Вследствие большого гидравлического сопротивления капиллярной трубки давление хладагента снижается от давления конденсации $P_{\text{к}}$ до давления кипения в испарителе $P_0 = 0,154 \dots 0,203$ МПа. Кроме того, поскольку конструкция холодильника предусматривает теплообмен между всасывающим трубопроводом и капиллярной трубкой, в последней происходит переохлаждение хладагента до температуры $t_0 = -10 \dots -20$ °С, что повышает эффективность работы агрегата. В результате процесса дросселирования хладагент в капиллярной трубке частично испаряется и в испаритель помимо жидкого хладагента в некотором количестве поступает двухфазная парожидкостная смесь. В испарителе хладагент кипит при неизменном давлении за счет теплоты, отбираемой у охлаждаемого воздуха холодильной камеры. Образующиеся пары хладагента отсасываются компрессором, предварительно пере-



греваясь в теплообменнике. Температура паров при входе в кожух мотор-компрессора повышается до 15 °С. После этого цикл повторяется.

1.3. Хладагенты и их свойства

Экономичность работы холодильной машины, ее размеры и устройство во многом зависят от вида рабочего вещества, циркулирующего в ее контуре. Это вещество или, как его принято называть, холодильный агент, или хладагент, совершает в холодильной машине обратный круговой процесс, в результате которого теплота от охлаждаемого тела передается в окружающую среду.

Вещества, применяемые в качестве хладагентов, должны соответствовать необходимым термодинамическим, физико-химическим и другим требованиям.

К термодинамическим требованиям относят низкую нормальную температуру кипения хладагента, что дает возможность избежать вакуума в испарителе, сравнительно низкое давление конденсации, что позволяет облегчить конструкцию машины, высокие значения теплоты парообразования и объемной холодопроизводительности. Температура замерзания должна быть значительно ниже рабочей температуры кипения, с тем чтобы исключить возможность замерзания хладагента в испарителе; критическая температура должна быть достаточно высокой, чтобы можно было осуществить процесс сжижения при температуре окружающей среды и обеспечить более экономичную работу машины.

К физико-химическим требованиям относят небольшие величины плотности и вязкости, что способствует снижению сопротивления движению хладагента по системе и, следовательно, уменьшению потерь давления. Коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи должны быть максимально большими, так как при этом улучшается работа теплообменных аппаратов (испарителя и конденсатора). Растворимость хладагента в масле создает благоприятные условия для смазки компрессора, так как масло в смеси с холодильным агентом проникает в труднодоступные места. С другой стороны, если хладагент не растворяется в масле, то из цилиндра компрессора уносится меньше масла, не изменяется температура кипения при постоянном давлении, в то время как для растворимого в масле хладагента температура кипения зависит от его концентрации в смеси. Однако масло, попадающее с нерастворимым агентом в теплообменные аппараты, оседает на поверхности и ухудшает теплопередачу.

Плохая растворимость хладагента в воде является отрицательным свойством. При попадании влаги в систему она может замерзнуть и нарушить циркуляцию хладагента.

Хладагент должен быть химически инертным по отношению к металлам и другим материалам, которые применяют в машине. Отрицательным свойством хладагента является большая текучесть, т. е. способность проникать через мельчайшие щели и даже поры в металле. Поскольку норма зарядки бытовой системы хладагентом строго дозирована, утечка его при эксплуатации агрегата не должна превышать 2... 5 г в год.

Желательно, чтобы хладагент был негорюч, невзрывоопасен и не разлагался при высоких и низких температурах, хотя эти требования на практике часто нарушаются.

Холодильный агент должен быть безопасен для жизни и здоровья человека, его стоимость не должна быть высокой.

Практически невозможно подобрать такие вещества, которые удовлетворяли бы всем вышеперечисленным требованиям, поэтому в каждом конкретном случае отдают предпочтение таким, которые отвечают принципиальным требованиям.

Одним из наиболее широко применяющихся хладагентов является аммиак (известный с 1970-х гг.). В бытовых абсорбционных холодильниках он используется в смеси с водой, играющей роль абсорбента.

В 1930-х гг. прошлого века появилась большая группа новых хладагентов — фреонов, которые представляют собой фтористые и хлористые производные предельных насыщенных углеводородов (метана CH_4 , этана C_2H_6 и др.).

Практически до конца XIX в. наиболее распространенными были хладагенты из группы хлорфторуглеводородов (ХФУ) (фреоны), известные под латинской аббревиатурой CFC.

Начиная с 1980 г. в результате исследований озонового слоя Земли было отмечено вредное воздействие на него хладагентов группы CFC. В связи с этим был разработан ряд новых хладагентов, принадлежащих главным образом к двум категориям химических соединений: фторхлорсодержащим углеводородам с низкой озоноразрушающей активностью HCFC (гидратированные ХФУ) и не содержащим атомов хлора фторуглеводородам HFC (озонобезопасные гидрофторуглеводороды).

Одной из основных тенденций развития холодильной техники в ближайшее время является перевод всего холодильного оборудования на озонобезопасные хладагенты.

К группам CFC и HCFC относятся хладагенты фреоновой группы, полностью или частично запрещенные к производству, но еще очень широко применяющиеся на практике.

В качестве альтернативных в настоящее время используются хладагенты группы HFC.

При рассмотрении влияния того или иного хладагента на окружающую среду следует учитывать не только его озоноразрушающие свойства, но и другие составляющие воздействия, такие,

как глобальное потепление климата планеты вследствие увеличения концентрации в атмосфере парниковых газов («парниковый эффект»). С этой точки зрения альтернативные хладагенты, в том числе HFC, имеют значительный потенциал глобального потепления (GWP).

Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. выделила глобальное потепление как наиболее опасный источник экологического воздействия на окружающую среду. В связи с этим, вероятно, более перспективным в ближайшее время является внедрение так называемых натуральных хладагентов: углеводородов, аммиака, воды, воздуха и т.д.

Большое разнообразие хладагентов и относительно сложные названия вызвали необходимость обозначения их в условной системе.

Согласно международному стандарту ИСО 817 «Органические хладагенты» предусмотрены цифровые обозначения хладагентов в технической документации на холодильное оборудование, хладагенты, масла, приборы автоматики, контроля и сигнализации холодильного оборудования и т.п.

Стандартом допускается несколько обозначений хладагентов: условное (символическое), торговое название (марка), химическое название, химическая формула. Условное обозначение состоит из буквы R (refrigerant) и определяющего числа. Например: хладон-12 имеет обозначение R12, хладон-22 — R22, аммиак — R717 и т.д.

В бытовых холодильниках и кондиционерах в качестве хладагентов в настоящий («переходный») период широко используются хладагенты фреоновой группы, аммиак, агенты групп HCFC и HFC, в том числе смеси различных углеводородов.

Аммиак NH_3 (R717) — бесцветный газ с резким запахом, вызывающий раздражение слизистых оболочек даже при малой концентрации в воздухе. При содержании аммиака в воздухе в количестве 16...25 % открытое пламя вызывает взрыв. Обладает хорошими термодинамическими свойствами. Нормальная температура кипения аммиака $-33,3^\circ\text{C}$. Аммиак имеет большую объемную холодопроизводительность, относительно небольшое рабочее давление конденсации. Он почти нерастворим в масле, но интенсивно поглощается водой.

С черными металлами (чугун, сталь) аммиак в реакцию не вступает, но в присутствии влаги разъедает цинк, медь и ее сплавы. Аммиак горюч, но в воздухе он горит плохо, а в среде кислорода — хорошо.

Газообразный аммиак легче воздуха. Жидкий аммиак — проводник электрического тока. Аммиак — доступный и дешевый холодильный агент.

R12 (дифтордихлорметан CF_2Cl_2) — хладагент группы CFC, бесцветный газ, практически без запаха, в 4,18 раза тяжелее воз-

духа. Нормальная температура кипения $-29,8^{\circ}\text{C}$. R12 невзрывоопасен, негорюч, но при температурах свыше 400°C разлагается с образованием хлористого и фтористого водорода, а также ядовитого газа фосгена.

R12 хорошо растворяет различные органические вещества и лаковые покрытия, что следует учитывать, в частности, при использовании обмоток электродвигателей с подобными покрытиями и т.п. R12 обладает хорошей взаиморастворимостью с маслом, образуя однородную смесь. При этом вязкость масла резко уменьшается. Концентрации масла и R12 в жидкой фазе этой смеси зависят от ее температуры и давления, что имеет большое практическое значение, оказывая влияние на смазку холодильного агрегата.

При отсутствии влаги R12 нейтрален почти ко всем металлам. В жидком виде он способен смывать с внутренней поверхности машин и аппаратов окалину, ржавчину и т.п.

R22 (*дифторхлорметан* CHF_2Cl) — хладагент группы HCFC — бесцветный газ со слабым запахом хлороформа, негорюч, взрывобезопасен, имеет физиологические свойства примерно такие же, как R12, а термодинамические свойства примерно такие же, как аммиак. Нормальная температура кипения R22 — $40,8^{\circ}\text{C}$. По сравнению с R12 хладагент R22 лучше растворяет воду, но хуже растворяется в масле.

Коэффициент теплоотдачи R22 на 25...30 % выше, чем R12, поэтому размеры теплообменных аппаратов при использовании R22 меньше. R22 легко проникает через неплотности и нейтрален к металлам. В отличие от R12 жидкий R22 хорошо проводит электрический ток.

R134a ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$) — хладагент группы HFC, бесцветный газ. Нормальная температура кипения $-26,2^{\circ}\text{C}$. Объемная холодопроизводительность и холодильный коэффициент при температурах кипения ниже -15°C меньше, чем у R12. R134a негорюч, при открытом пламени разлагается с выделением отравляющих веществ, таких, как фторводород. Хладагент рекомендуется применять в бытовых холодильниках и торговом оборудовании. Он может быть использован для ретрофита (перевода) систем, работающих на R12.

R404A — трехкомпонентная смесь группы HFC. Нормальная температура кипения $-46,5^{\circ}\text{C}$. Хладагент используется в оборудовании, рассчитанном на низкие и средние температуры кипения. Может быть использован для ретрофита систем, работающих на R502, при этом необходима замена масла (требуется полиэфирное масло). Холодильный коэффициент R404A на 7...9 % меньше, чем при работе на R22, а значения холодопроизводительности весьма близки к R22. Однако необходимо учитывать повышенные на 15...25 % значения давлений в конденсаторе и испарителе.

К преимуществам хладагента можно отнести более низкие (на 11... 16 °С) по сравнению с R22 значения температуры газа за компрессором.

R600a [изобутан $(\text{CH}_3)_3\text{—CH}$] — озонобезопасный хладагент, имеющий более высокие энергетические показатели, чем R134a, но горючий. Нормальная температура кипения –11,6 °С. В настоящее время является одним из наиболее распространенных хладагентов наряду с R134a, смесью пропан-бутан и различными вариантами трехкомпонентных смесей на их основе.

В соответствии с Монреальским протоколом в европейских странах применение галогеносодержащих хладагентов, к числу которых относится также и R22, в новых установках разрешено только до конца 1999 г.

Для уже существующих установок использование хладагента R22 предположительно будет разрешено до 2008 г. При этом запрет на применение R22 касается также и холодильных смесей с массовым содержанием этого хладагента более 1 %. Это означает, что при проектировании новых холодильных установок на такие смеси, как, например, R401A, R401B, R408A и R409A, в ближайшем будущем нельзя будет рассчитывать.

В Германии Министерство экологии и охраны окружающей среды рекомендует перевод существующих холодильных установок, работающих на хладагенте R12, на R22 и R134a. Однако для этих целей можно использовать также и другие хладагенты с низким потенциалом истощения озонового слоя, например R410A, R507.

В качестве альтернативы используемым в настоящее время в промышленных и коммерческих установках хладагентам R12, R22 и R502 уже давно рекомендуются так называемые «природные» хладагенты, такие, как пропан (R290), изобутан (R600a) и аммиак (R717), которые не представляют угрозы для окружающей среды. Однако при использовании таких хладагентов должны строго выполняться все предписанные меры предосторожности, позволяющие избежать опасных воздействий на обслуживающий персонал или сооружения, в которых установлены холодильные установки.

1.4. Холодильные смазочные масла и их свойства

Смазочные масла, используемые в компрессионных холодильных машинах, выполняют целый ряд важных функций: уменьшают износ трущихся поверхностей деталей механизма движения компрессора; благодаря отводу части теплоты частично содействуют охлаждению компрессора; способствуют удалению мелких частиц металла — продуктов износа сопрягаемых пар.

В холодильных устройствах используются масла различных марок, различающиеся по своим свойствам.

Выбор той или иной марки масла зависит от применяемого в данной машине хладагента, а также от рабочих температур в испарителе и компрессоре, системы смазки компрессора и т.д.

В холодильных машинах применяют минеральные и синтетические масла.

Смазочные масла должны отвечать следующим требованиям:
обладать определенной вязкостью и способностью смачивания;
не содержать посторонних примесей (воды, кислот и др.);
иметь стабильные свойства, т.е. не изменяться в течение длительного времени;

не взаимодействовать с материалами холодильного агрегата и с хладагентом;

иметь низкую температуру замерзания и высокую температуру воспламенения.

Все используемые в холодильных машинах масла должны быть прозрачными. Масло становится непрозрачным вследствие большого содержания примесей (воды, смолистых веществ, продуктов износа). В процессе эксплуатации холодильного агрегата масло постепенно стареет под действием теплоты, давления, различных загрязнений, а также из-за окисления в присутствии воздуха и влаги. Запах и наличие осадка, как и цвет масла, позволяют оценить его качество и пригодность к дальнейшему использованию.

1.5. Хладагенты и масла для замены R12, R22 и R502

В табл. 1.1 ... 1.3 представлены свойства альтернативных хладагентов и смесей в соответствии со стандартом DIN 8960 «Хладагенты: требования и обозначения».

Принятые в таблицах сокращения:

ODP — показатель разрушения озонового слоя относительно фтортрихлорметана (R11);

GWP₁₀₀ — потенциал глобального потепления относительно двуокиси углерода на расчетный период 100 лет.

Рекомендуемые масла:

A — алкилбензольное масло (синтетическое);

A/M — алкилбензольное и минеральное масло (полусинтетическое);

PAG — полиалкиленгликолевое масло;

PAO — полиальфаолефиновое масло (синтетическое);

M — минеральное масло;

POE — полиэфирное масло.

Хладагенты, рекомендуемые для замены R12

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP ₁₀₀	Рекомендуемое масло	t ₀ , °C
R134a	CF ₃ CH ₂ F	0	1300	POE	-26
R401A	R22/152A/124 (53/13/34)	0,037	1100	M/A, A, POE	-33
R409B	R22/152A/124 (61/11/28)	0,04	1200	M/A, A, POE	-34,6
R409A	R22/124/142b (60/25/15)	0,048	1460	M/A, A, POE	-34,5
R409B	R22/124/142b (65/25/10)	0,048	1400	M/A, A, POE	-35,6
R413A	R134a/218/600a (88/9/3)	0	1800	M, A, M/A, PAO, POE	-35
R290/ R600a	R290/R600a	0	3	M, A, M/A, PAO, POE	В зависимости от соотношения
R600a	CH(CH ₃) ₃ (изобутан)	—	—	M, A, M/A, PAO, POE	-11,9

Хладагенты, рекомендуемые для замены R22

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP ₁₀₀	Рекомендуемое масло	t ₀ , °C
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	0	3800	POE	-46,4
R507	R125/143a (50/50)	0	3800	POE	-46,5
R410A	R32/125 (60/40)	0	1900	POE	-51,6
R407A	R32/125/134a (20/40/40)	0	1900	POE	-45,5
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	0	1600	M/A, A, POE	-43,6
Isceon 59	R125/134/600a (46/50/4)	0	2120	M, A, M/A, PAO, POE	-42,1
R290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ (пропан)	0	3	M, A, M/A, PAO, POE	-42,1
R717	NH ₃ (аммиак)	0	0	M, PAO (PAG)	-33

Хладагенты, рекомендуемые для замены R502

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP ₁₀₀	Рекомендуемое масло	t ₀ , °C
R402A	R125/290/22 (60/2/38)	0,021	2600	M/A, A, POE	–48,9
R402B	R125/290/22 (38/2/60)	0,033	2200	M/A, A, POE	–47,1
R403A	R22/218/290 (75/50/5)	0,041	2700	M/A, A, POE	–50
R403B	R22/218/290 (56/39/5)	0,031	3700	M/A, A, POE	–50,2
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	0	3800	POE	–46,4
R407A	R32/125/134a (20/40/40)	0	1900	—	–45,5
R407B	R32/125/134a (10/70/20)	0	2600	POE	–47,3
R410A	R32/125 (60/40)	0	1900	POE	–51,6
R507	R125/143a (50/50)	0	3800	POE	–46,5
R408A	R22/125/143a (47/7/46)	0,026	3100	M/A, A, POE	–44,4
FX40 (Elf Ato- chem)	Более не производится	0	—	—	–48
R290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ (пропан)	0	3	M, A, M/A, PAO, POE	–42,1
R717	NH ₃ (аммиак)	0	0	M, PAO (PAG)	–33

Контрольные вопросы

1. Какие способы получения искусственного холода вы знаете?
2. Каков принцип действия компрессионного холодильника?
3. Каковы основные свойства холодильных агентов?
4. Какие требования предъявляются к смазочным маслам?
5. Какими хладагентами можно заменить R22?

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БЫТОВЫХ КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКАХ

2.1. Классификация бытовых холодильников и морозильников

Бытовые холодильники и морозильники предназначены для кратковременного, а также длительного хранения скоропортящихся пищевых продуктов, полуфабрикатов и готовых блюд в охлажденном или замороженном виде. Роль бытовых охлаждающих устройств трудно переоценить. Возможность закупать продукты более крупными партиями, реже посещать магазины позволяет экономить время при ведении домашнего хозяйства. С другой стороны, наличие холодильников достаточного объема и укрупненные закупки продуктов в широком ассортименте являются стимулом для строительства больших магазинов самообслуживания типа «Супермаркет», что, в свою очередь, уменьшает трудозатраты работников торговли.

Современный холодильник представляет собой, как правило, шкаф, внутри которого находится холодильная камера (ХК), а в некоторых моделях холодильников и морозильная, с полками для пищевых продуктов. Камера ограждена от шкафа слоем теплоизоляции. Холодильный агрегат расположен в машинном отсеке, обычно в нижней части шкафа. Спереди камера закрыта дверью, которая удерживается в закрытом положении механическим или магнитным затвором. Существует множество различных моделей бытовых холодильников, различающихся по своему назначению и конструктивному оформлению.

Бытовые холодильники и морозильники изготавливаются согласно стандартам страны-производителя.

В нашей стране выпуск электрических компрессионных, абсорбционных и термоэлектрических холодильников обусловлен требованиями ГОСТ 16317—87 «Приборы холодильные электрические бытовые».

По своему назначению холодильные приборы подразделяются на холодильники, морозильники и холодильники-морозильники.

По способу получения холода — на компрессионные, абсорбционные и термоэлектрические.

По числу камер — на однокамерные, двухкамерные, трехкамерные и многокамерные.

По способу установки — напольные типа шкаф, напольные типа стол, встраиваемые настенные, блочно встраиваемые.

По способности работать при максимальных температурах окружающей среды холодильные приборы подразделяются на следующие классы:

Класс А (холодильники):

SN, *N* — не выше 32 °С;

ST — не выше 38 °С;

T — не выше 43 °С.

Класс Б (морозильники и холодильники-морозильники):

N — не выше 32 °С;

T — не выше 43 °С.

В зависимости от температуры в низкотемпературном отделении (НТО) холодильники маркируют следующим образом:

одной звездочкой (охлаждение до –6 °С);

двумя звездочками (охлаждение до –12 °С);

тремя звездочками (охлаждение до –18 °С).

Обозначение на дверце морозильной камеры (МК) представляет собой сочетание одной большой и трех малых звездочек.

Двухкамерные холодильники, как правило, маркируют четырьмя звездочками, что указывает на возможность замораживания в них продуктов с требуемой скоростью, благодаря чему сохраняется их клеточная структура.

В зависимости от выполняемых функций холодильные приборы подразделяются на группы сложности (табл. 2.1).

Морозильники относят к 1-й группе сложности, морозильники со специальным устройством для размораживания — к 0-й группе.

Зарубежные (в частности, немецкие) холодильники подразделяются на три класса комфортности: функциональный класс; комфорт-класс; премиум-класс.

Функциональный класс отвечает наиболее важным функциональным требованиям к условиям хранения продуктов и экономичности холодильника в эксплуатации при оптимальном сочетании цены и качества.

Холодильники комфорт-класса кроме основных функций имеют дополнительные, повышающие комфортность и удобства в эксплуатации.

Холодильники премиум-класса имеют наибольший выбор функций и элементов комфортности.

Для того чтобы при покупке можно было сравнить характеристики расхода электроэнергии, в европейских странах вся холодильная и морозильная техника снабжается так называемой «евро-наклейкой», свидетельствующей о потребляемой ею энергии. Приборы всех производителей разделены на «классы энергопотребления» по семибалльной шкале от А до G:

Группы сложности холодильников

Выполняемая функция	Группа сложности и наличие выполняемой функции					
	0	1	2	3	4	5
Хранение охлажденных продуктов	+	+	+	+	+	+
Хранение замороженных продуктов при температуре, °C:						
-6	-	-	-	-	+	-
-12	-	-	-	+	+	-
-18	+	+	+	-	-	-
Замораживание продуктов	-	-	-	-	-	-
Размораживание продуктов специальным устройством	+	-	-	-	-	-
Автоматическое оттаивание испарителя холодильной камеры (при его наличии)	+	+	+	-	-	+
Автоматическое или полуавтоматическое оттаивание испарителя НТО	-	-	-	+	-	-
Ручное оттаивание испарителя НТО	-	-	-	-	+	-
Световая сигнализация о режимах работы	+	+	-	-	-	-
Звуковая сигнализация о нарушении правил эксплуатации	+	-	-	-	-	-

экономичные модели (цвет наклеек на корпусе от темно-зеленого до желто-зеленого) — *A, B* и *C*;

промежуточный класс (желтая наклейка) — *D*;

модели с высоким расходом электроэнергии (цвет наклеек от оранжевого до красного) — *E, F* и *G*.

Энергопотребление домашних холодильников составляет около 24 % общего энергопотребления домашних электрических аппаратов, ровно столько составляют энергозатраты на освещение. В связи с этим можно предположить в будущем увеличение производства более совершенных с точки зрения энергозатрат аппаратов при одновременном уменьшении рыночной доли малоэффективной продукции.

2.2. Типы и конструкции бытовых холодильников

Однокамерные холодильники. До сравнительно недавнего времени этот тип холодильников (рис. 2.1) был наиболее распространен-