

## 7. ОСНОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

### 7.1 Введение

В природе тепловая энергия перетекает всегда от более высоких к более низким температурам. Иными словами, там, где есть разница температур между двумя объектами или веществами, тепло передается от объекта или вещества с более высокой температурой к объекту или веществу с более низкой температурой. Это можно наблюдать во многих повседневных ситуациях.

Например, горячая чашка чая охлаждается естественным образом по мере того, как тепло от чая передается чашке и окружающему воздуху. В итоге чай и чашка достигнут той же температуры, что и окружающий воздух, и передача тепла прекратится, когда разницы температур между чаем и его окружением больше не будет.

Аналогично, мороженое будет нагреваться и таять, пока из воздуха, имеющего более высокую температуру, мороженому с более низкой температурой будет передаваться тепло. Охлаждение – это процесс выделения тепла из воздуха или вещества и передачи его куда-либо для снижения температуры пространства или вещества и для поддержания этой более низкой температуры. Это означает обратный ход естественного течения тепла и перенос тепла от вещества или объекта с более низкой температурой к объекту с более высокой температурой.

В домашнем холодильнике тепло выделяется из пространства внутри шкафа холодильника и выводится у задней стенки холодильника в то помещение, в котором расположен холодильник. Результатом является то, что температура пищевых продуктов внутри холодильника станет существенно ниже, чем температура окружающего пространства, в противоположность тому, что могло бы произойти, если бы имело место естественное движение тепла.

При использовании офисного кондиционера тепло выделяется из офисного пространства и выбрасывается в атмосферу вне здания. Результатом является то, что температура воздуха в офисе становится ниже, чем температура снаружи здания.

Термин «искусственное охлаждение» в целом относится к неестественному или искусственному процессу для извлечения и переноса тепла и снижения температуры, тогда как естественная потеря или утечка тепла от объектов с более высокой температурой называется остыванием (охлаждением).

Термин «кондиционирование воздуха» в целом используется для описания систем или устройств, которые искусственно снижают температуру в рабочем или жилом пространстве. Однако этот же термин подразумевает, что системы кондиционирования воздуха также используются для осушения или нагревания воздуха, в зависимости от внешних условий по отношению к рабочему или жилому пространству. Данное руководство рассматривает аспекты искусственного охлаждения с помощью систем кондиционирования воздуха.

### 7.2 Как работают системы искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха?

Системы искусственного охлаждения или кондиционирования воздуха – это машины или системы компонентов, которые удаляют тепло из пространства или вещества и выделяют это тепло куда-либо, обычно в противоположном естественному потоку тепла направлении.

## Научные основы охлаждения

Системы охлаждения или кондиционирования воздуха работают, используя три важных принципа, которые являются результатом физических законов, которые обуславливают отношения между жидкостями и газами и, в частности, определяют, что происходит, когда жидкость превращается в газ, а газ превращается в жидкость. Эти так называемые фазовые переходы известны как испарение и конденсация.

### Принцип 1

Когда жидкость испаряется, она поглощает тепло, необходимое для испарения, из окружающей среды. Следовательно, объект, находящийся в контакте с испаряющейся жидкостью отдает тепло жидкости и охлаждается.

Вот почему, когда мы потеем, наша кожа остывает. Энергия, необходимая для испарения пота, поступает из нашей кожи.

Существует другой процесс, противоположный процессу испарения, когда тепло высвобождается из газа, что заставляет газ конденсироваться обратно в жидкость.

### Принцип 2

Некоторое парообразование происходит в жидкости, независимо от температуры окружающей среды, но самый высокий темп испарения и, следовательно, максимальный эффект охлаждения достигается, при кипении жидкости.

Например, если вода комнатной температуры помещается в тяжелую металлическую кастрюлю также комнатной температуры, то вода будет медленно испаряться в течение долгого периода времени. Это имеет очень небольшой эффект охлаждения, так как темп испарения очень низок и изменение температуры кастрюли будет незаметным.

Однако если та же кастрюля будет иметь температуру 200 °С, при вливании в нее воды комнатной температуры, произойдет быстрое испарение, и температура кастрюли значительно упадет, пока вся вода не испарится или пока кастрюля и вода не достигнут одной и той же температуры.

### Принцип 3

Температура, при которой жидкость кипит, зависит от давления, действующего на жидкость: чем ниже давление, тем ниже точка кипения. По этой причине чайник с водой кипит при 100 °С на уровне моря, но тот же чайник закипел бы при 65 °С на вершине горы Эверест. Это происходит потому, что атмосферное давление воздуха на вершине Эвереста гораздо ниже, чем на уровне моря.

Этот принцип также применяется к обратному процессу конденсации: чем выше давление, тем выше температура, при которой газ конденсируется в жидкость.

## Что такое системы искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха?

Инженеры и конструкторы систем искусственного охлаждения или кондиционирования воздуха используют эти научные принципы для создания систем, которые переносят тепло из одного места в другое и таким образом снижают температуру объекта или пространства. Хотя такие системы различаются по размеру и сложности, их механизмы действия по существу одинаковы.

Системы искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха осуществляют испарение жидкости в определенном месте, где требуется поглощение тепла (охлаждение). Испарившись, жидкость переносится в другое место для конденсации обратно в жидкость, где она выделяет тепло. Конденсированная жидкость затем возвращается на место, где она снова испаряется для поглощения большего тепла, и цикл повторяется.

Общий результат состоит в том, что тепло перемещается из места, где жидкость испаряется, к месту, где жидкость конденсируется.

Этот цикл может иметь место в ограниченном объеме, таком как домашний холодильник, где тепло переносится на очень небольшое расстояние из внутреннего объема шкафа наружу. В системе кондиционирования воздуха для больших зданий тепло должно быть перенесено на большие расстояния с испарением, происходящим в жилых помещениях и офисах, и конденсацией, происходящей на некотором расстоянии на крыше или снаружи здания.

Жидкость, используемая для этого процесса перемещения тепла из одного места в другое (рабочая жидкость или теплоноситель), называется хладагентом.

Многие жидкости могут быть использованы в качестве хладагентов, но вследствие фундаментальных законов физики, эффект охлаждения максимален тогда, когда хладагент кипит. Это имеет существенные последствия для конструирования систем охлаждения, так как для достижения эффекта охлаждения при низких температурах требуются такие жидкости, которые кипят при этих температурах, а затем могут быть обратно сконденсированы в жидкости при нормальных температурах.

Например, для достижения температур, требующихся в нормальном домашнем холодильнике-морозильнике, требуется хладагент с точкой кипения около  $-20^{\circ}\text{C}$  и температурой конденсации около  $50^{\circ}\text{C}$ .

Более детальная информация о хладагентах содержится в главе 9.

## Компоненты систем искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха

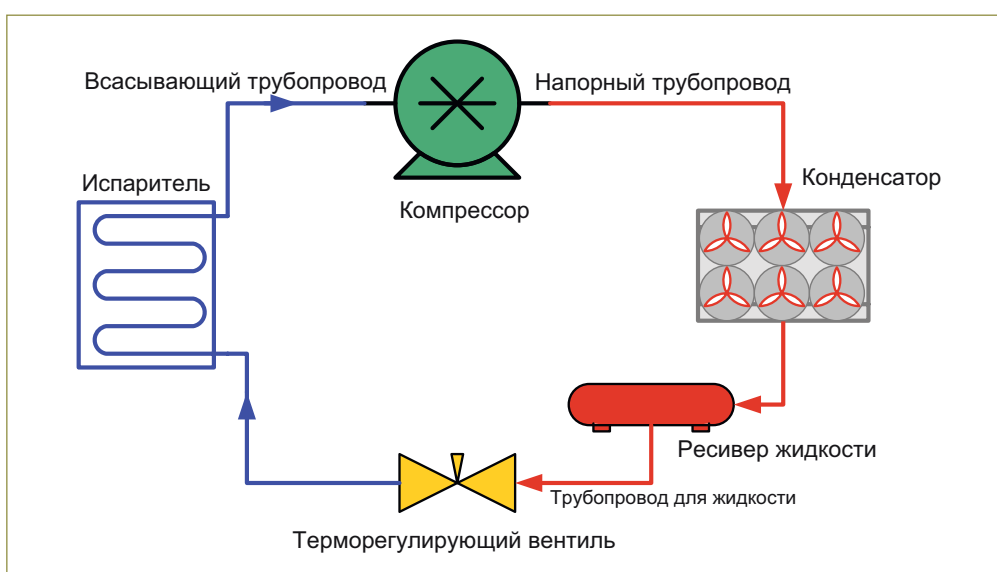
Существует много различных типов систем охлаждения и кондиционирования воздуха – от простых домашних холодильников/морозильников до больших холодильных систем, используемых в производстве продуктов питания и в промышленности. Несмотря на разные размеры и сложность систем, основные принципы, на которых они работают, одни и те же.

Все системы охлаждения используют шесть основных компонентов, каждый из которых играет особую роль в процессе переноса тепла из одного места в другое.

Существует четыре механических или аппаратных компонента: компрессор, конденсатор, расширительное устройство и испаритель, а также два основных химических компонента: хладагент и масло.

Основные механические компоненты связаны линиями передачи хладагента (трубопроводами) для формирования замкнутого контура, по которому циркулируют хладагент и масло. Каждый компонент выполняет свою роль в циклическом процессе, известном как «холодильный цикл».

**Рис. 5 Холодильная схема, основывающаяся на компрессии испарений**



Более сложные системы охлаждения включают в себя много других компонентов для наблюдения и контроля за работой и параметрами систем, а большие системы часто формируются посредством параллельного соединения нескольких компрессоров, испарителей и конденсаторов. Большие системы могут включать в себя резервуар жидкого хладагента между конденсатором и регулятором потока хладагента. Резервуар служит буферной емкостью, которая обеспечивает работу испарителя достаточным количеством хладагента.

Независимо от сложности, работа каждой холодильной системы или кондиционера основывается на работе вышеуказанных шести аппаратных и химических компонентов.

## Компрессионный цикл охлаждения

Компрессионный цикл охлаждения – наиболее широко используемый в настоящее время холодильный цикл. Однако есть другие циклы охлаждения (например, цикл Стерлинга и термоэлектрические циклы), но эти циклы не используют ГХФУ и, следовательно, не рассматриваются в рамках настоящего руководства.

Цель этого раздела – дать объяснение составным частям в наиболее широко используемом цикле, так как они встречаются во всех системах охлаждения, использующих ГХФУ.

### **Испарители**

Жидкий хладагент поступает в теплообменник, известный как испаритель. Это обычно длинная изогнутая трубка, по которой течет хладагент. Она расположена в месте, где температура должна быть понижена.

Давление внутри трубки такое, что хладагент кипит при низкой температуре (это определяется параметрами конструкции), поглощая тепло и превращаясь в газ низкого давления.

Например, в домашнем холодильнике испаритель – это змеевидной формы трубка, встроенная в заднюю стенку холодильного или морозильного отделения. Вот почему иней или лед аккумулируется внутри на задней стенке холодильника, так как эта поверхность – самая холодная его часть.

В офисном кондиционере испаритель – это трубка в виде спирали или змеевика, расположенная в кассетном модуле, смонтированном на потолке или стене. Воздух продувается сквозь модуль и охлаждается при прохождении через змеевик, в котором испаряется хладагент.

### **Компрессоры**

Пар хладагента низкого давления засасывается из испарителя компрессором. Труба, исходящая из испарителя к компрессору, называется всасывающей, так как она подходит к всасывающему патрубку компрессора.

Компрессор поднимает давление (и температуру) паров хладагента и нагнетает пар высокого давления в конденсатор. Труба, исходящая из компрессора в конденсатор, известна как нагнетательная или линия высокого давления.

В системах охлаждения и кондиционирования воздуха используется несколько типов компрессоров. Общеизвестные типы – это поршневые (поршень и цилиндр), ротационные спиральные или винтовые компрессоры.

В домашнем холодильнике компрессор помещен в черный металлический кожух, прикрепленный к основанию в задней части холодильного шкафа. В офисном кондиционере воздуха компрессор или компрессоры будут расположены в отдельном машинном отделении, снаружи здания или на крыше.

### **Конденсаторы**

Пар высокого давления из компрессора поступает в конденсатор, перенося тепло из испарителя и тепло, добавленное компрессором. Это другой теплообменник, где тепло выделяется хладагентом в окружающую среду.

Так как давление пара хладагента в конденсаторе гораздо выше, чем в испарителе, его температура кипения или конденсации будет также выше (см. принцип 3). Система спроектирована так, что давление в конденсаторе соответствует температуре конденсации хладагента, которая выше температуры окружающей среды.

Другими словами, температура конденсации хладагента выше температуры окружающего воздуха. Следовательно, хладагент в конденсаторе конденсируется обратно в жидкость. В процессе конденсации хладагент выделяет тепло в атмосферу.

В реальной практике хладагент охлаждается в конденсаторе несколько ниже температуры конденсации, это называется переохлаждением. За счет него эффективность цикла повышается, так как переохлаждение снижает количество жидкого хладагента, частично испаряющегося в расширительном устройстве и снижающего температуру хладагента, поступающего в испаритель.

В домашнем холодильнике конденсатор – это черный змеевик, прикрепленный к задней стенке холодильного шкафа выше компрессора. Так как хладагент из компрессора проходит через трубку большой длины, он конденсируется, отдавая свое тепло в окружающее пространство. Вот почему при прикосновении к задней стороне холодильника обычно ощущается тепло.

В офисном кондиционере воздуха конденсатор или конденсаторы вместе с компрессором будут расположены где-то снаружи здания, так, что тепло, выделяющееся во время конденсации, выделяется в открытый воздух. Обычно можно видеть конденсаторы на внешних стенах зданий, а также на крышах. Они обычно соединены с вентилятором, который продувает воздух сквозь змеевик конденсатора. Это дает возможность уменьшить длину по сравнению с длиной, которая была бы необходима, если бы пришлось полагаться только на естественную вентиляцию.

### **Расширительные устройства**

Жидкий хладагент после этого проходит в испаритель. Однако прежде, чем войти в испаритель, давление хладагента должно быть снижено до давления в испарителе, чтобы позволить хладагенту кипеть при низкой температуре.

С этой целью устанавливается расширительное устройство на линии между конденсатором и испарителем, ближе к испарителю. Трубка от конденсатора к расширителю называется жидкостной линией, так как по ней циркулирует жидкий хладагент.

Процесс снижения давления хладагента в расширительном устройстве часто называют дросселированием. Расширителем может быть ручной или автоматически контролируемый клапан, дроссельная шайба или простая капиллярная трубка.

Жидкий хладагент низкого давления поступает в испаритель, где он кипит, поглощая тепло из охлаждаемого пространства. Этот процесс завершает цикл, и, таким образом, тепло перемещается из пространства с низкой температурой в пространство с более высокой температурой. Затем цикл повторяется.

В домашнем холодильнике расширительное устройство представляет собой сужение сечения в виде капиллярной трубки правильно рассчитанной длины или пережим в трубке между конденсатором и испарителем.

В офисном кондиционере расширительное устройство – это терморегулирующий клапан или ТРВ. Он расположен в кассетном модуле с испарителем в офисном помещении. Этот тип расширительного устройства регулирует поступление жидкого хладагента в испаритель в соответствии с желаемой температурой воздуха в помещении.

### **Хладагент**

Хладагент – это ключевой компонент в системах искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха. Это теплоноситель, который поглощает тепло в одной части контура (в испарителе) и отдает тепло в атмосферу в другой части контура (в конденсаторе).

Термодинамические свойства хладагента определяют, какой эффект может быть достигнут за счет применения холодильной системы, и включают следующие параметры:

- Температура испарителя или самая низкая температура, которая может быть достигнута теоретически;
- Энергоэффективность системы или сколько электроэнергии требуется на охлаждение;
- Окружающая среда, в которой система может действовать; максимальная местная температура, при которой система может обеспечить достаточное охлаждение (относится к характеристике конденсатора).

Перенос тепла происходит только тогда, когда существует разница температур. Разница температур также зависит от конструкции теплообменника. Хладагент должен испаряться при более низкой температуре, чем запрограммированная температура охлаждаемого пространства, так как перенос тепла неэффективен на 100 %.

Химические свойства хладагента определяют его совместимость с другими материалами, с учетом чего также определяют материалы, из которых должны быть изготовлены другие компоненты системы, включая конденсатор, испаритель, уплотнения, трубопроводы, прокладки и смазочные масла.

Химические свойства хладагента также диктуют меры безопасности, которые должны быть приняты во внимание при конструкции и работе системы. Это главным образом токсичность и воспламеняемость хладагента.

### 7.3 Смазочные материалы для систем искусственного охлаждения

Масло – важный элемент любой системы искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха. Оно применяется для смазки движущихся частей компрессора, которые в ином случае не могли бы функционировать.

Компрессоры содержат определенный объем масла, которое поступает к движущимся частям, но так как масло также необходимо для работы перепускного клапана между сторонами высокого и низкого давления, определенное количество масла проходит через клапан и циркулирует по системе вместе с хладагентом. Когда система находится в стадии устойчивого функционирования, смесь масла и хладагента эффективно циркулирует по системе.

Масло оказывает значительное влияние на конструкцию системы, так как оно покрывает внутреннюю поверхность всех компонентов, что оказывает влияние на эффективность переноса тепла в испарителе и конденсаторе, а также может влиять на работу расширительного устройства.

Масло также меняет термодинамические свойства чистого хладагента, в связи с чем конструкция системы должна учитывать свойства смеси хладагента с маслом.

Химические свойства масла особенно важны с точки зрения совместимости масла с материалами и хладагентом. Они также определяют, насколько легко смешиваются масло и хладагент. Хорошая смешиваемость важна для обеспечения бесперебойной работы системы.

## 7.4 Общие типы компрессоров

Компрессор – это сердце компрессионной холодильной схемы, и наличие эффективных, надежных и экономичных компрессоров важно для производителей холодильного оборудования и кондиционеров воздуха.

Различия в физических свойствах хладагентов означают, что объем хладагента, степень сжатия и давление нагнетания могут изменяться от системы к системе. В этой связи различные типы компрессоров оказываются более или менее пригодными для разных видов применения и типов хладагентов.

Основные типы холодильных компрессоров включают поршневые, винтовые и спиральные компрессоры, а также ротационные лопастные и центробежные компрессоры.

В целом, спиральные компрессоры являются наиболее эффективными, в то время как поршневые обеспечивают самое высокое давление на выходе и могут, таким образом, использоваться для применения в промышленных системах.

### Поршневые компрессоры

Эти компрессоры позволяют достигать высокого давления нагнетания и используются в торговых холодильных системах и домашних холодильниках (малые поршневые компрессоры).

Поршневые компрессоры используют возвратно-поступательные движения поршня внутри цилиндра для сжатия хладагента. Когда поршень движется вниз, внутри цилиндра создается вакуум. Так как давление над всасывающим клапаном выше, чем давление ниже клапана, всасывающий клапан открывается, и хладагент поступает в цилиндр. После достижения нижней точки поршень начинает двигаться вверх. Всасывающий клапан закрывается, запирая хладагент внутри цилиндра. Так как поршень продолжает двигаться вверх, он сжимает хладагент, повышая его давление. В определенной точке давление хладагента приводит к открытию выпускного клапана, и сжатый хладагент выходит из цилиндра. Как только поршень достигает своей верхней позиции, он начинает двигаться вниз, и цикл повторяется.

**Комбинация из нескольких поршневых компрессоров**



### Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры используют пару винтовых роторов. Пока роторы вращаются, они цепляются друг за друга, поочередно открывая и закрывая пространства между нарезкой в конце роторов. Когда пространство между винтами роторов на всасывающем конце открывается, хладагент всасывается внутрь него. Пока роторы продолжают вращаться, хладагент



остается заключенным внутри межвинтового пространства и продвигается вдоль всей длины роторов. Объем межвинтового пространства уменьшается, и хладагент сжимается. Сжатие заканчивается, когда хладагент достигает противоположного конца внутри герметичной камеры.

Эффективность этого типа компрессора зависит от точности изготовления и сборки, обеспечивающих необходимые зазоры между винтовыми роторами и камерой для герметизации каналов компрессии.

### **Спиральные компрессоры**

В спиральном компрессоре хладагент сжимается двумя смещенными спиральными дисками, смонтированными вместе. Верхний диск стационарный, в то время как нижний диск движется в орбитальном режиме. Орбитальное действие нижнего диска внутри стационарного создает герметичные пространства меняющегося объема.

Хладагент всасывается внутрь через входные порты, расположенные по периметру спирали.

Некоторое количество хладагента остается заключенным в одной из изолированных областей. Пока диск вращается, замкнутое пространство, содержащее хладагент, переносится к центру и его объем уменьшается. По мере того, как объем уменьшается, хладагент сжимается. Сжатый хладагент высвобождается через порт в центре верхнего диска. Спиральные компрессоры – тихие, плавно работающие устройства с самым высоким коэффициентом эффективности из всех типов компрессоров.

Компрессоры этого типа широко используются в автомобильных системах кондиционирования воздуха и в пищевой промышленности.

Спиральные компрессоры имеют низкий темп утечек, и они более эффективны, чем другие типы компрессоров.

### **Центробежные компрессоры**

Центробежные компрессоры используют вращательное движение лопастного колеса для приведения в действие центробежной силы, действующей на хладагент внутри круглой спиральной камеры. Хладагент всасывается в лопастное колесо сквозь расположенное соосно большое круглое впускное отверстие и перемещается между лопастями. Лопастные выталкивают хладагент наружу, оказывая на него действие центробежной силы. Хладагент сжимается по мере того как он прижимается к стенке спиральной камеры.

#### **Компрессорные роторы**



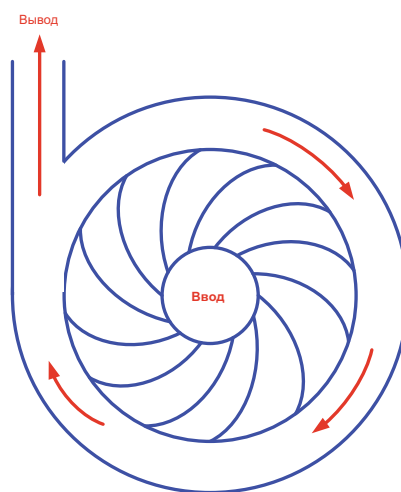
#### **Спиральный компрессор**



Центробежные компрессоры подходят для компрессии больших объемов хладагента до относительно малого давления, в связи с чем они широко использовались для больших центральных холодильных установок, использующих ХФУ-11 или его хладагент-заменитель. Компрессионная сила, генерируемая лопастным колесом мала, поэтому чиллеры, которые используют центробежные компрессоры, обычно применяют несколько лопастных колес, организованных в последовательный ряд. Центробежные компрессоры востребованы в силу их простой конструкции и небольшого количества движущихся частей.

Имеются и другие типы холодильных компрессоров, но они очень редки.

### Центробежный компрессор



## 7.5 Хладагенты

Существует много типов хладагентов общего пользования.

До сих пор наиболее широко используемым ГХФУ является хладагент ГХФУ-22 (также известный как R-22). Он составляет 97 % общего потребления ГХФУ в холодильном секторе и в секторе кондиционирования воздуха в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, в соответствии с последней оценкой, проведенной Многосторонним фондом по реализации Монреальского протокола.

Большинство бытового и промышленного оборудования кондиционирования воздуха традиционно функционировало на ГХФУ-22.

Крупные системы воздушного кондиционирования или чиллеры используют хладагенты высокого или низкого давления в зависимости от применения чиллера и, следовательно, требуемых температур испарения. Чиллеры используют ГХФУ-22, но традиционные центробежные чиллеры используют ХФУ-11 и ХФУ-12. Чиллеры низкого давления традиционно использовали ХФУ-11, а чиллеры высокого давления используют ГХФУ-22 (R-22) и ХФУ-12 (R-12).

Хладагент ГХФУ-123 использовался для замены ХФУ-11 как хладагента низкого давления, но теперь его потребление подлежит сокращению в соответствии с ускоренным графиком Монреальского протокола. Однако благодаря его очень низкому ПГП (76), относительно низкому ОРП (0,02–0,06) и высокой энергоэффективности, этот хладагент в некоторых странах не является основным приоритетом в программе сокращения потребления ГХФУ.

Альтернативные хладагенты для чиллеров высокого давления (ГХФУ-22) – это гидрофторуглероды (ГФУ), смеси нескольких ГФУ и аммиак. Некоторые из этих вариантов могут быть применены для существующего оборудования с незначительной модернизацией системы. Другие могут быть использованы только для нового оборудования, созданного для конкретных типов смесевых хладагентов.

Хладагенты для торговых и промышленных холодильных систем выбираются на основе температуры испарения, требуемой в системе. Термодинамические характеристики ГХФУ-22 (R-22) делают его пригодным для широкого ряда применений в торговых и промышленных холодильных системах, так как он может быть использован для получения ряда температур охлаждения.

ГХФУ также используются для подготовки широкого ряда смесевых хладагентов, которые использовались для замены ХФУ с момента начала реализации Монреальского протокола. ГХФУ-124 и ГХФУ-142b широко использовались в смесевых хладагентах в качестве заменителей ХФУ.

Замена ГХФУ-22 будет занимать центральное место в деятельности по сокращению потребления ГХФУ в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, так как использование этого хладагента составляет 97% всего потребления хладагентов на основе ГХФУ, используемых в этих государствах.

## 7.6 Потребление энергии

### Энергопотребление в секторе искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха

В компрессионном холодильном цикле энергия главным образом потребляется для сжатия хладагента от начального давления в испарителе до давления в конденсаторе.

Хотя, в принципе, холодильные системы могут получать энергию из различных источников, подавляющее большинство систем функционирует с использованием электрической энергии.

Системы также включают в себя вентиляторы, обеспечивающие циркуляцию воздуха через змеевики испарителя и конденсатора, а некоторые системы включают насосы, которые обеспечивают циркуляцию вторичных охлаждающих жидкостей. Эти насосы и вентиляторы также потребляют электроэнергию.

Потребление энергии системой охлаждения или кондиционирования воздуха – важный фактор для оценки воздействия такой системы на окружающую среду в целом, так как производство электроэнергии – один из главных источников выбросов CO<sub>2</sub>. Энергопотребление также является важнейшим элементом операционных расходов.

### Энергоэффективность

Фундаментальные законы гидродинамики, базовый холодильный цикл и основные компоненты, описанные выше, представляют собой основу любой системы охлаждения или кондиционирования воздуха.

Задача, которая стоит перед инженерами и конструкторами – это создание наиболее экономичных и эффективных систем, которые были бы коммерчески конкурентоспособны с точки зрения цены изделия и операционных расходов, включая расходы на сервисное обслуживание системы.

В дополнение к физическим и инженерным ограничениям, определяемым термодинамикой, свойствами и стоимостью материалов, дальнейшие ограничения и препятствия возникают из-за растущего объема нормативных актов, направленных на сохранение окружающей среды, которые все больше и больше определяют использование химических веществ и устанавливают высокие стандарты энергоэффективности.

Энергоэффективность, следовательно, является в настоящее время одним из главных определяющих факторов в проектировании холодильных систем, поэтому в этой сфере осуществляется значительный объем исследований и разработок.

Общей эффективностью холодильной системы или системы кондиционирования воздуха является произведенное полезное охлаждение, поделенное на общее количество затраченной энергии.

$$\text{Эффективность} = \frac{\text{Полученное полезное охлаждение (кВт)}}{\text{Потребленная электрическая энергия (кВт)}}$$

## 7.7 Аспекты проектирования систем искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха

### Терминология

*Процесс охлаждения* – это удаление тепла из охлаждаемого вещества или пространства и перемещение его к более теплomu веществу или пространству. Как описано ранее, холодильный цикл работает потому, что жидкость поглощает тепло из окружающей среды, когда она испаряется, и этот принцип лежит в основе цикла охлаждения.

На бытовом уровне, однако, люди склонны думать об охлаждении, как о передаче холода веществу или пространству, или о снижении температуры вещества или пространства. Аналогично, инженеры говорят об охлаждающих конденсаторах, хотя, строго говоря, конденсаторы выделяют тепло из хладагента, который нагревает воздух или жидкость вокруг него.

Язык, которым описываются системы охлаждения или воздушного кондиционирования, является техническим. Детальное проектирование системы находится за пределами настоящего руководства, целью которого является лишь описание основных принципов. Однако некоторые основные концепции проектирования просуммированы ниже для использования в идентификации системы.

Цель этого раздела – объяснить основные принципы процесса искусственного охлаждения или кондиционирования воздуха.

## Системы с воздушным и жидкостным охлаждением

Конденсатор холодильной системы может быть охлажден (или использован для выделения тепла) воздухом или жидкостью (обычно водой). В системах с водяным охлаждением вода подается в конденсатор, омывает змеевик и забирает тепло у хладагента, циркулирующего внутри этого змеевика. В конденсаторе с воздушным охлаждением тепло от хладагента забирается циркулирующим воздухом. Большинство конденсаторов с воздушным охлаждением оснащено вентилятором, который увеличивает поток воздуха, подаваемого в конденсатор.

Конденсаторы с водяным охлаждением могут быть расположены внутри здания или снаружи, но конденсаторы с воздушным охлаждением обязательно должны быть расположены снаружи.

## Прямое и не прямое охлаждение

В большинстве холодильных циклов испаритель располагают там, где требуется охлаждение. Внешняя поверхность испарителя становится холодной, и это охлаждает контактирующее с ним вещество или воздух.

В небольших кондиционерах воздух пропускается прямо над змеевиком испарителя, не контактируя с ним. В домашнем холодильнике испаритель располагается в задней части камеры или ниже полок с продуктами и находится в прямом контакте с пространством, которое он охлаждает. Оба типа применения определяются как прямое охлаждение.

Термин прямое охлаждение или ПО часто используется для описания теплообменника или охлаждающего змеевика, в котором хладагент испаряется и который находится в прямом контакте с охлаждаемым воздухом или веществом.

Существуют ситуации, где ради удобства, эффективности, безопасности или экономии испаритель не устанавливается там, где требуется охлаждение. В этом случае жидкость во вторичном контуре охлаждается испарителем и перекачивается туда, где требуется охлаждение, в связи с чем необходим второй теплообменник для обеспечения охлаждения в месте использования. Жидкость, используемая во вторичном контуре, называется хладоносителем или вторичной жидкостью и не является хладагентом.

Двухконтурные системы главным образом применяются для больших централизованных холодильных систем (т.е. в супермаркетах и складских помещениях) и системах кондиционирования воздуха (т.е. в больницах, гостиницах или офисных зданиях), где использование хладоносителя оказывается более эффективным для распределения охлаждения на удаленные расстояния по сравнению с применением больших объемов хладагента.

Термин не прямое охлаждение, следовательно, используется для описания систем, где хладагент испарителя охлаждает жидкость во вторичном контуре охлаждения, охлаждающую, в свою очередь, место использования.

**Змеевик прямого охлаждения**



## Централизованные и распределенные системы

Если кондиционирование воздуха или охлаждение требуется в нескольких местах в пределах площади среднего и большого размера или целого здания, то эти потребности могут быть удовлетворены путем установки индивидуальных систем, распределенных в тех местах, где требуется охлаждение, или же установкой больших станций централизованного хладоснабжения с последующим распределением охлаждения индивидуальным потребителям. Этот подход часто оказывается более экономичным, удобным или безопасным.

На практике это обычно означает монтаж нескольких холодильных установок, включая компрессоры, теплообменники, насосы и т.д., в специальных машинных отделениях и систему территориально-распределенного охлаждения с использованием вторичных контуров, как это было описано выше.

В зависимости от масштаба применения и требований к температуре охлаждения в одном месте может быть смонтировано более одной централизованной системы. Например, производственное предприятие может иметь централизованную систему кондиционирования воздуха и вторую централизованную систему, обеспечивающую хладоснабжение производственного процесса.

## Применение чиллеров в холодильных системах

Чиллер – это машина, которая включает холодильную систему и теплообменник, специально сконструированный для охлаждения вторичной охлаждающей жидкости, которая может быть распределена по различным местам для обеспечения охлаждения. Обычно вторичная охлаждающая жидкость – это вода с добавками, такими как ингибиторы коррозии и незамерзающие растворы (антифризы), например, гликоль.

Чиллеры очень широко используются для обеспечения кондиционирования воздуха в средних и крупных зданиях, включая гостиницы, крупные офисные здания, торговые центры, больницы и здания общественного пользования. Чиллеры обычно также используются для обеспечения процесса охлаждения в пищевой и химической промышленности.

Большинство чиллеров спроектировано для установки внутри помещения и поэтому они располагаются в машинных отделениях. Они также могут быть расположены снаружи или на крыше зданий в утепленной пристройке.

Чиллеры – это точные машины с высокими изначальными капитальными затратами и высокими операционными расходами, в связи с чем они требуют повышенного внимания при их выборе и сервисном обслуживании.

## Температура воздуха или воды на выходе из теплообменника

Термин температура воздуха или воды на «выходе» относится к температуре, достигнутой воздухом, покидающим охлаждающий змеевик системы кондиционирования воздуха, или

температуре воды (или другого хладоносителя), когда она покидает испаритель или другой теплообменник. Эти параметры очень важны при конструировании и контроле сложных систем.

Температура воздуха или воды на «выходе» никогда не будет такой же низкой, как температура испарения, т.к. теплообменники не обладают 100 %-ной эффективностью. Фактически температура воздуха или воды на «выходе» обычно существенно выше.

Аналогично температура воздуха или воды на «входе» относится к температуре воздуха или воды, поступающей в теплообменник. В кондиционере воздуха эта температура немного выше температуры в помещении или температуры воздуха, засасываемого в теплообменник. Для чиллера это температура воды, которая возвращается из вторичного теплообменника, поглотив тепло в месте охлаждения.

Знание этих температур, а также объема и расхода охлаждаемой воды или воздуха, позволяет вычислить требуемую холодопроизводительность холодильной установки.

## Холодопроизводительность (номинальная характеристика)

Холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха – это интенсивность, с которой она может забирать тепловую энергию у охлаждаемого вещества или пространства. Интенсивность переноса энергии также называется мощностью. Стандартная метрическая единица мощности кВт; однако обычно используются три различные системы единиц для обозначения мощности системы:

Система измерения	Единица измерения мощности
1 кВт (стандартная единица мощности)	1 кВт = 1,000 Джоулей в секунду
BTU/час (Британская термическая единица)	1,000 BTU/час = 0,293 кВт
Тонна охлаждения	1 т = 12.000 BTU/час = 3,5168 кВт

BTU определяется, как количество тепла, требующееся для увеличения температуры одного фунта жидкой воды на один градус по Фаренгейту.

Калория (символ: кал) – это количество тепла (энергии), требующееся для увеличения температуры 1 грамма воды на 1 градус по Цельсию (1 кал = 4,18 Дж).

Термин «тонна охлаждения» первоначально использовался как холодопроизводительность, необходимая для получения одной тонны льда в сутки.

## Теоретическая и реальная холодопроизводительность

Холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха или холодильной системы определяется рядом эксплуатационных параметров. Как описано ранее, температуры конденсации и испарения системы определяют, где система может функционировать и диапазон температур, которые она может поддерживать.

На реально достижимую холодопроизводительность системы оказывают влияние и другие параметры. Эти параметры включают в себя конструкционные особенности теплообменников в испарителе и в конденсаторе, а также объемы и расходы охлаждаемого воздуха и воды.

Теоретические или конструкционные параметры системы – это единственное, что система может или должна обеспечивать. В малых или автономных кондиционерах достаточно легко точно предсказать холодопроизводительность системы. Однако для больших или более сложных систем точно предсказать холодопроизводительность становится сложнее.

Таким образом, детальные знания и опыт необходимы для проектирования крупных холодильных систем и систем кондиционирования воздуха, а также важна квалификация техников и инженеров при изготовлении данных систем.

## 7.8 Типы систем кондиционирования воздуха

### Введение

Огромное большинство систем кондиционирования воздуха – это компрессионные системы с электрическим приводом, в которых охлаждаемый воздух продувается через теплообменник, содержащий испаряющийся хладагент.

Существует большое разнообразие кондиционеров воздуха в диапазоне от 2 кВт до нескольких сотен кВт, с количеством заправленного хладагента пропорциональным холодопроизводительности.

**Таблица 14. Категории систем воздушного кондиционирования**

<i>Категории</i>	<i>Область применения</i>
Малые автономные системы*	Охлаждение одной комнаты
Сплит-системы (бесканальные)	Жилые и промышленные
Сплит-системы (канальные)	Жилые и промышленные
Корпусные воздушные кондиционеры (канальные)	Промышленные
*Оконные и вмонтированные в стену кондиционеры	

Почти все воздушно-охлаждаемые кондиционеры и тепловые насосы, произведенные до 2000 г., используют ГХФУ-22 в качестве хладагента. С тех пор многие страны, не действующие в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, перешли на озонобезопасные альтернативы до наступления контрольных сроков, установленных Монреальским протоколом. По некоторым оценкам примерно 94% оборудования, установленного в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, в настоящее время использует ГХФУ-22 в качестве хладагента (Секретариат МФМП, Комитет по технической оценке, 2006 г.).

Кондиционеры воздуха с воздушным охлаждением и тепловые насосы обычно подразделяются на четыре отдельные категории, изначально основанные на холодопроизводительности или области их применения. Они поставляются в нескольких модификациях в зависимости от размера и места установки.



## Малые автономные (моноблочные) кондиционеры воздуха

Малые автономные кондиционеры воздуха являются кондиционерами малой мощности, в которых все компоненты системы охлаждения содержатся в едином корпусе. Обычно это оборудование обладает холодопроизводительностью в диапазоне от 1 до 11 кВт со средней заправкой хладагента 0,25 кг на 1 кВт мощности охлаждения. Большинство малых автономных кондиционеров воздуха исторически использовали хладагент ГХФУ-22. Общая средняя заправка оценивается в 0,75 кг. (Секретариат МФМП, Комитет по технической оценке; обновление: май 2008 г.).

Существует три основных конфигурации таких кондиционеров: оконные, монтируемые в стене (сквозь стену) или переносные. При оконном и стенном монтаже, испаритель расположен внутри, а конденсатор расположен снаружи, все компоненты находятся в едином корпусе. Портативный кондиционер воздуха обычно монтируется на колесах и может быть перемещен из одного помещения в другое. Конденсатор охлаждается воздухом, поступающим из помещения, и выбрасывается наружу, например, через открытое окно с помощью гибкого рукава.

Оконный кондиционер



Конструкция малых автономных кондиционеров предусматривает их использование для нагрева и охлаждения небольших жилых помещений или малых офисов. Они широко используются во многих странах и их можно видеть на стенах многих зданий в городах и поселках.

Эти устройства производятся и заправляются на больших заводах с контролем качества и тестами на утечки, что обеспечивает низкие уровни утечек порядка 2–3% исходной заправки в год.

Последние данные показывают, что глобальный рынок для этих типов воздушных кондиционеров снижается в пользу сплит (раздельных) кондиционеров воздуха.

## Бесканальные сплит-системы

Сплит-системы являются одним из наиболее широко распространенных типов систем кондиционирования воздуха. Их можно встретить во многих местах и часто в домах, офисах и малых коммерческих помещениях.

В отличие от малых автономных (моноблочных) кондиционеров, компоненты сплит-систем являются, как следует из названия, разделенными. Один или несколько испарителей располагаются в охлаждаемом помещении, в то время как компрессор и конденсатор устанавливаются снаружи и связаны с испарительным блоком линией подачи хладагента и электрической проводкой. Термин «бесканальные» означает, что воздух помещения охлаждается в помещении при помощи теплообменника, обдуваемого вентилятором в отличие от ситуации, когда воздух охлаждается/нагревается где-либо еще и поступает в помещение через воздухораспределительную систему вентиляции.

Блоки, которые содержат теплообменник испарителя и вентилятор для циркуляции воздуха в помещении через охлаждаемый элевик (радиатор), называют внутренними блоками сплит-систем. Для каждого кондиционируемого помещения обычно используется один внутренний блок. Компрессор и конденсатор обычно монтируют вместе в наружном или конденсаторном блоке.

Малые бесканальные воздушные кондиционеры со сплит-системой в диапазоне ниже 7 кВт с единственным внутренним блоком часто называют мини-сплит-системой. Малые сплит-системы или мини-сплиты используются в жилых и малых коммерческих помещениях и офисах, где необходимо кондиционирование воздуха в отдельном помещении. Внутренние блоки могут быть напольные (устанавливаются на пол), настенные (монтируются на стену) или кассетные (скрытая установка, обычно монтируются в фальш-потолок).

Более крупные бесканальные сплит-системы используют такой же подход, как и мини-сплиты, но могут включать в себя несколько внутренних блоков и иногда несколько наружных блоков. Эти устройства часто называют мульти-сплит системами. Они пригодны для установки на более крупных объектах, где необходимо кондиционирование воздуха в более, чем одной комнате, а также для коммерческих помещений, таких, как рестораны, врачебные кабинеты, магазины и офисы средних размеров.

Различные типы внутренних блоков могут быть использованы в разных комнатах.

Термин мульти-сплит-система относится к большим системам, где несколько внутренних блоков соединены с наружным блоком, расположенным на крыше или в машинном отделении, и обслуживающим несколько помещений или целое здание. Этот подход часто используется для больших помещений, таких, как офисные здания среднего размера, где около десятка или больше внутренних блоков обслуживают жилые или рабочие помещения.

Огромное количество бесканальных воздушных кондиционеров, изготовленных ранее 2000 г., использовали хладагент ГХФУ-22 со средней заправкой ГХФУ-22 примерно от 0,25 до 0,30 кг на один кВт мощности охлаждения. Общий средний расход ГХФУ-22 оценивается в количестве около 1,2–1,3 кг на систему.

Эти системы обычно также производятся на крупных промышленных предприятиях с соответствующим контролем качества и тестированием утечек. Эти системы устанавливаются на месте с использованием предварительно заправленных хладагентом линий и соединителей, что достаточно часто приводит к более высоким средним уровням утечек для этих систем по сравнению с автономными устройствами.

Бесканальные воздушные кондиционеры со сплит-системой используют герметичные ротационные, спиральные или поршневые компрессоры.

#### Сплит-система настенного типа



#### Внутренний блок кассетного типа



## Сплит-системы канального типа

Сплит-системы канального типа обеспечивают охлаждение или кондиционирование воздуха во многих помещениях в здании, используя сеть вентиляционных каналов, которые являются частью конструкции здания. Каналы часто идут горизонтально в потолочных пустотах и вертикально в стенных полостях или в специально сконструированных сервисных шахтах.

В системах канального кондиционирования воздуха испарители или охлаждающие модули расположены в каналах, а не в помещениях, где требуется охлаждение. Центральные вентиляторы через сеть воздухопроводов доставляют воздух, который охлаждается, проходя через охлаждаемый модуль.

Наружные блоки (компрессор/конденсатор) расположены снаружи здания или на крыше, и связаны с охлаждающими модулями посредством гибких линий с циркулирующим хладагентом. Обычно один блок с компрессором/конденсатором обслуживает несколько внутренних блоков с смонтированными в них испарителями.

Канальные сплит-системы обычно можно обнаружить в крупных жилых зданиях, где воздушные каналы снабжают каждое помещение или отдельные зоны в промышленных или офисных зданиях. Сплит-системы в жилых зданиях обычно используют такую же систему воздухопроводов для подачи тепла в помещения в холодное время года.

Холодильная мощность таких систем обычно находится между 5 и 18 кВт, а средняя система имеет мощность около 11 кВт и содержит в среднем около 3,25 кг ГХФУ-22.

Требования к повышению энергоэффективности во многих странах стимулировали разработку новых проектов систем с увеличенной площадью теплообменников. Вследствие этого, количество заправляемого хладагента на кВт мощности охлаждения также должно быть увеличено.

В США, например, минимальная энергоэффективность кондиционеров воздуха, допускаемых к продаже для установки в жилых помещениях, была увеличена на 30% в январе 2006 г., что привело к увеличению уровней заправки хладагентом на 20–40%.

## Корпусные кондиционеры воздуха (канальные)

Корпусные кондиционеры воздуха (канальные) содержат в одном моноблоке встроенный вентилятор и теплообменник испарителя, которые напрямую присоединены к воздушной распределительной системе здания. Они иногда называются системой «воздух-воздух», так как воздух засасывается снаружи и охлаждается, проходя в системе воздухопроводов.

Большинство канальных корпусных кондиционеров воздуха монтируются на крышах офисов, магазинов или ресторанов (руфтоп или крышные) или снаружи на раме, установленной на уровне земли. Несколько таких агрегатов, содержащих один или более компрессоров, часто используются для кондиционирования одноэтажных торговых центров, магазинов, школ и других подобных зданий.

Корпусные системы имеют диапазон холодопроизводительности в шкале от 10 кВт до более чем 350 кВт. Средний объем заправки ГХФУ-22 около 10,8 кг на систему.

## Чиллер

Большие здания или комплексы, такие как отели, большие офисные здания, торговые центры, больницы и общественные здания, часто имеют центральные системы кондиционирования воздуха, которые используют чиллеры.

Охлажденная вода принудительно циркулирует по теплообменникам или охлаждающим змеевикам (радиаторам). Так как воздух подается через охлаждаемые поверхности теплообменников, то он охлаждается перед тем как поступить в помещение.

Чиллеры производятся в очень широком диапазоне холодопроизводительности от 30 до 5.000 кВт. Однако наиболее часто мощность чиллеров кондиционирования воздуха находится между 7 и 700 кВт. Большие чиллеры (700 кВт и выше) обычно используют центробежные компрессоры с ГХФУ-123, но изредка используется и ГХФУ-22.

ГХФУ-22 использовался для производства практически всех нецентробежных чиллеров с винтовыми, спиральными и поршневыми компрессорами. Так как чиллеры часто изготавливаются на больших заводах с высокими требованиями к контролю и качеству производства, то они могут работать в течение десятков лет без необходимости их замены.

Хотя потребности в ГХФУ-22 для сервисного обслуживания и ремонта одной системы достаточно малы, большое количество чиллеров и их долгий срок службы увеличивает зависимость стран от поставок ГХФУ-22.

Система чиллера



Таблица 14.

Тип чиллера	Диапазон мощности (кВт)
Спиральные и поршневые водоохлаждаемые	7–1.600
Винтовые водоохлаждаемые	140–2.275
Объемного вытеснения воздухоохлаждаемые	35–1.760
Центробежные водоохлаждаемые	210–30.000
Центробежные воздухоохлаждаемые	420–1.150

## 7.9 Тепловые насосы

Тепловые насосы – это системы, в которых используется цикл охлаждения с обратным ходом для поглощения тепла из источника с низкой температурой и переноса его к потребителю с высокой температурой. Вместо испарительной системы, находящейся там, где требуется охлаждение, конденсатор системы находится там, где требуется нагревание.

Так, бытовые тепловые насосы поглощают тепло из окружающего воздуха в холодное время года и выделяют его внутри помещения, где необходимо поддерживать более высокую температуру.

Конденсатор выделяет тепло внутрь, а испаритель поглощает тепло снаружи. В этом случае тепло движется в обратном направлении по сравнению с воздушным кондиционером летом, который поглощает тепло из помещения комнаты и выбрасывает его в окружающий воздух, который теплее, чем комната. В этих ситуациях система переносит тепло в противоположном направлении тому, что могло бы происходить в естественных условиях.

Большинство тепловых насосов сконструированы для обеспечения температур на выходе из конденсатора с воздушным охлаждением и водяным охлаждением в диапазоне от 43°C до 60°C, в зависимости от конструкции системы.

Хотя некоторые системы сконструированы только для обогрева, в тепловых насосах с реверсивным циклом используется электрический реверсивный клапан для изменения направления течения хладагента внутри системы. Таким образом система может по желанию обеспечивать как тепло, так и холод. Такие тепловые насосы могут, следовательно, быть использованы для обогрева зимой и охлаждения летом. Это особенно полезно в странах, которые имеют относительно высокие сезонные температурные колебания.

Тепловые насосы могут быть более эффективны, чем традиционные системы обогрева, так как количество выделяемого тепла больше, чем потребляемая энергия для работы системы. Современные системы также позволяют вернуть в здание в виде полезного тепла значительное количество электроэнергии, которая питает тепловой насос. Полезное тепло может быть обнаружено в наружном воздухе и в земле, а также оно присутствует в воде рек, озер и морей. Поэтому даже в самые холодные зимние дни может производиться достаточное количество тепла для обогрева домов и офисов.

Все тепловые насосы, кроме самых больших промышленных систем, герметичны, в связи с чем они малозумны и имеют незначительные тепловые потери.

## 7.10 Типы систем искусственного охлаждения

Искусственное охлаждение имеет обширную сферу использования. Все холодильные системы могут быть классифицированы в рамках трех видов применения, а именно: торговые, промышленные и транспортные.

### Торговые системы охлаждения

В соответствии с определением, одобренным МФМП, использование охлаждения, отличающегося от того, что идентифицировано в качестве промышленного, транспортного, бытового, кондиционирования воздуха или чиллеров, рассматривается как торговое охлаждение.

Значительная часть торгового холодильного оборудования используется для производства и сохранения охлажденных и замороженных пищевых продуктов и напитков при заданных технологическими регламентами и условиями хранения температурах. Холодильное оборудование можно найти в супермаркетах, гастрономах, ресторанах, отелях и других учреждениях.

Для поддержания соответствующего качества продуктов температуры хранения должны точно соблюдаться, и во многих странах температуры хранения предписаны нормативными актами.

Точно определены два уровня температур: средняя температура для хранения свежих продуктов и напитков и низкая температура для замороженных продуктов.

Охлажденные продукты обычно хранятся при температурах в диапазоне от 1°C до 14°C. Это требует температуры в испарителе системы охлаждения между -15°C и +1°C. Большинство замороженных продуктов хранится в диапазоне от -12°C до -20°C с температурой в испарителе от -35°C до -40°C.

Холодильное торговое оборудование может быть подразделено на следующие категории: автономное оборудование, компрессорно-конденсаторные агрегаты и централизованные системы охлаждения.

### **Автономное оборудование**

В автономных холодильных системах все компоненты интегрированы в едином блоке, который производится и обычно заправляется хладагентом на предприятии – изготовителе. Это системы, которые применительно к бытовой технике называют «plug and play» (включай и работай), так как они могут быть доставлены к месту использования и просто подключены к подходящему электрическому источнику питания. Эта категория оборудования включает торговые холодильники и морозильники, водоохладители, морозильники мороженого, льдогенераторы и охлаждаемые витрины.

До принятия Монреальского протокола в большинстве изделий, относящихся к автономному оборудованию, в качестве хладагента использовался ХФУ-12. ГХФУ-22, как альтернативный хладагент, был освоен некоторыми производителями и все еще широко применяется в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

Этот тип оборудования особенно широко используется и его можно найти практически в каждом городе и поселке по всему миру. Рынок для этого типа оборудования продолжает стабильно расти, так как сети поставщиков продуктов питания и напитков продолжают развиваться.

Большое количество автономного оборудования меньшего размера также используется для торгово-коммерческих целей, таких, как виноохладители, крупнокамерные кухонные холодильники и морозильники, гостиничные мини-бары, холодильные шкафы для хранения мороженого, водоохладители, льдогенераторы, торговые автоматы. Это холодильное оборудование основано на той же технологии, что и бытовые холодильники и морозильники. В большинстве случаев это оборудование традиционно использовало хладагент ХФУ-12, и его значительная часть уже была переведена на использование озонобезопасных альтернативных хладагентов, главным образом ГФУ-134а.

Описание альтернативных технологий для сокращения ГХФУ приведено в главе 9 настоящего руководства, и оно сосредоточено в основном на большом торговом холодильном оборудовании, использующем ГХФУ-22.

### **Витрина для охлажденных продуктов**



### **Компрессорно-конденсаторные агрегаты**

Термин компрессорно-конденсаторные агрегаты (холодильные агрегаты) используется для описания сплит-систем охлаждения, состоящих из одного или двух компрессоров, конденсатора и ресивера хладагента, собранных в одно устройство, которое расположено отдельно от испарителя – обычно снаружи здания, где конденсатор может охлаждаться наружным воздухом. Жидкий хладагент подается в испаритель холодильного агрегата по трубопроводу (эта компоновка в принципе аналогична сплит-системам кондиционирования воздуха). Холодильное оборудование может включать в себя охлаждаемые витрины, холодильные камеры и другое оборудование.

Использование подобных холодильных агрегатов широко распространено в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, в нескольких типах холодильного оборудования, но чаще всего в холодильных камерах и охлаждаемых прилавках и витринах. Как правило, они устанавливаются в пекарнях, в мясных и небольших продовольственных магазинах, а также в небольших супермаркетах, где несколько холодильных агрегатов устанавливаются для обслуживания охлаждаемых прилавков и витрин, а также холодильных камер. Этот подход обычно обеспечивает суммарную холодопроизводительность до 50 кВт. Однако использование нескольких холодильных агрегатов оказывается менее энергоэффективным решением, чем установка одной специально сконструированной централизованной системы. С другой стороны, для централизованной системы требуется не только компрессор большей мощности, но и проведение проектных и инженерно-технических работ.

Холодильные агрегаты обычно производятся в средних или больших количествах и заправляются хладагентом в процессе производства. После поставки эти устройства подсоединяются техником-холодильщиком к охлаждаемому оборудованию и готовы к использованию.

Использование холодильных агрегатов является предпочтительным решением для многих конечных пользователей в странах 5-й Статьи Монреальского протокола, т.к. такая технология относительно проста в монтаже и эксплуатации и подобные устройства также доступны на местных рынках многих стран. Другое существенное преимущество этих агрегатов состоит в том, что они относительно недороги в сравнении с централизованными системами.

ГХФУ-22 до сих остается предпочтительным хладагентом для производства компрессорно-конденсаторных холодильных агрегатов в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

#### **Компрессорно-конденсаторный агрегат**



#### **Холодильная витрина**



## Централизованные системы

Централизованные холодильные системы по принципу работы аналогичны компрессорно-конденсаторным агрегатам, но вместо использования одного такого агрегата для каждого потребителя холода, централизованная система обслуживает несколько потребителей, подключенных параллельно. Холодильные централизованные системы содержат несколько компрессоров (часто они монтируются на раме) и могут поддерживать различные уровни температур для различных холодильных устройств, т.е. в камерах охлажденных продуктов –  $+4^{\circ}\text{C}$  и в морозильниках –  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Централизованные системы особенно распространены в средних и крупных супермаркетах, где повышенная энергоэффективность одной такой системы по сравнению с несколькими компрессорно-конденсаторными агрегатами обеспечивает значительную экономию в оплате стоимости электроэнергии.

ГХФУ-22 широко используется в централизованных системах, но по сравнению с компрессорно-конденсаторными агрегатами уровень сложности монтажа и большое число соединений на линиях хладагента означает, что существует высокая вероятность утечек хладагента. Поэтому уровень требований к качеству монтажа подобных систем существенно выше.

В больших централизованных системах, например, в тех, которые применяются в супермаркетах, используются две основные конфигурации: прямые и двухконтурные системы.

Прямые системы распространены более широко. Хладагент поступает из машинного отделения в торговый зал, где он испаряется в теплообменниках охлаждаемых прилавков и витрин, а затем возвращается в паровой фазе к всасывающему коллектору компрессоров, установленных на единой раме. Холодильные и морозильные камеры супермаркетов охлаждаются тем же способом.

В машинном отделении несколько компрессоров устанавливаются на единой раме и объединяются всасывающими и нагнетательными коллекторами. На каждой раме также устанавливается конденсатор воздушного охлаждения. Группа компрессоров на отдельной раме может обслуживать несколько низкотемпературных потребителей холода в торговом зале. Другая группа компрессоров может быть предназначена для среднетемпературного охлаждения. При этом каждая группа объединяется одним общим коллектором.

Двухконтурные системы используют первичные теплообменники для охлаждения жидкого вторичного хладоносителя, такого, как гликоль или соляной раствор, который насосом

### Централизованная система торгового холодильного оборудования



### Центральная система охлаждения





закачивается в теплообменники охлаждаемых витрин и прилавков или другие холодильные устройства, где хладагент поглощает тепло, а затем возвращается в теплообменник первичного контура.

Этот подход уменьшает количество первичного хладагента, требующегося для системы, так как холодильная система располагается в машинном отделении и отсутствует необходимость в подаче хладагента по трубам в каждое холодильное устройство.

## Промышленное охлаждение

Промышленные системы охлаждения базируются на тех же принципах, что и кондиционирование воздуха и торговое охлаждение, но в целом имеют больший масштаб и специально создаются для этого вида применения. Проектирование, установка и ввод в эксплуатацию промышленных систем охлаждения требуют современных инженерно-технических знаний. Холодильные мощности в подсекторе промышленного холодильного оборудования варьируют от 10 кВт до 10 МВт с температурами испарения в диапазоне от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Существует частичное совпадение в определении промышленного и торгового охлаждения на нижнем участке шкалы холодопроизводительности в промышленном охлаждении, которая совпадает с холодопроизводительностью, применяемой в больших магазинах, ресторанах и других учреждениях. В этих случаях промышленные системы определяются сложностью проектирования и типом установки. Существует также некоторое пересечение с сектором кондиционирования воздуха, в котором сравнительно небольшое количество зданий обслуживается спроектированными на заказ центральными холодильными системами, которые имеют больше общего с промышленными системами, чем с типовым стандартизированным оборудованием для кондиционирования воздуха.

### Система охлаждения в промышленном производстве



Однако в большинстве случаев промышленное охлаждение используется в так называемых промышленных процессах, включающих в себя переработку продуктов питания (пивоварение, молочная промышленность и производство безалкогольных напитков) и их хранение и логистику, а также использование в технологических процессах химической, нефтехимической и фармацевтической отраслей промышленности. По этой причине промышленное охлаждение иногда называется холодильной обработкой. Другие ниши применения включают ледовые арены и крытые лыжные склоны.

Сектор промышленного охлаждения не включает массовое и серийное производство оборудования, и он также не охватывает более крупное стандартное оборудование, такое, как корпусные водяные чиллеры.

Особый аспект промышленного охлаждения, который отличает его от малых систем охлаждения, – это тип применяемых конденсаторов или, точнее, способ, которым они охлаждаются.

В этом секторе традиционно использовались испаряющие охлаждающие системы с водой, такие, как испарительные конденсаторы или башенные градирни.

В последнее время наблюдалось повышение тарифов на водоснабжение и водоочистку, что в сочетании с распространением случаев заболевания легионеллезом (вызываемым микроорганизмами рода *Legionella*) привело к росту использования конденсаторов воздушного охлаждения. Однако по сравнению с испарительным оборудованием эти конденсаторы снижают эффективность системы, требуют больше пространства для установки и генерируют более высокие уровни шума.

#### Конденсатор с воздушным охлаждением установленный на крыше



Наиболее широко используемыми хладагентами в промышленности являются аммиак (R-717) и ГХФУ-22. В странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, где потребление ХФУ уже прекращено, а потребление ГХФУ строго ограничено, большинство промышленных систем охлаждения используют в качестве хладагента аммиак (R-717). В странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, где национальное законодательство все еще разрешает использование ГХФУ-22, этот хладагент более предпочтителен, чем аммиак (R-717).

Промышленное охлаждение обычно используют для увеличения срока годности продовольствия, но оно также применяется для контроля скорости протекания биохимических (в пивоварении, получении солода и т.д.) и химических (на химических предприятиях) реакций или для подготовки продуктов питания для обработки (охлаждение мяса или рыбы перед рубкой). В некоторых случаях, таких, как производство мороженого или маргарина, метод охлаждения продукта является существенной составляющей производственного процесса.

В большинстве промышленных применений используются прямые системы, в которых испаритель хладагента обеспечивает охлаждение в месте использования. При повышенных температурах могут быть применены двухконтурные системы для доставки охлаждения до места потребления водно-гликолевым или соляными растворами в качестве хладагентов во вторичном контуре. Это позволяет поместить первичный контур охлаждения внутри машинного отделения.

При пониженных температурах хладагента ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  повышение вязкости жидкости обычно приводит к значительным затратам на его перекачку с помощью насосов.

Имеются предположения, позволяющие утверждать, что прямые системы требуют меньших капитальных затрат, что делает их более эффективными в эксплуатации. Двухконтурные системы более востребованы, когда приоритетом является, например, уменьшение возможности потерь хладагента по причинам техники безопасности или защиты продукции, что достигается уменьшением дозы заправки хладагентом в первичном холодильном контуре.

### Обработка пищевых продуктов

Глобальный ежедневный рынок охлажденных пищевых продуктов оценивается примерно в 350 млн тонн с ежегодным ростом в размере 7% в год.

Вполне естественно, что проблеме хранения и обработки пищевых продуктов уделяется огромное значение, в том числе и в странах, действующих в рамках 5-ой Статьи Монреальского Протокола. Большинство операций по охлаждению продуктов питания на соответствующих предприятиях осуществляется при контроле температуры воздуха, что обеспечивает требуемый срок годности продуктов. Там, где есть значительное поступление свежего воздуха в помещение по переработке продуктов питания, в летнее время большинство тепловой нагрузки может быть связано с охлаждением окружающего воздуха.

#### Система технологического охлаждения



Те же соображения относятся к хранению фруктов и овощей, когда необходимо контролировать накопление отходящих газов от продуктов хранения для предотвращения преждевременного созревания.

Значительные тепловые нагрузки могут наблюдаться в чиллерах для охлаждения продуктов сразу после тепловой обработки. В этом случае основная цель – гарантировать качество продукта и продлить срок его годности.

Холодильное оборудование также используется в производстве льда в форме цилиндров, пластин или хлопьев. В большинстве случаев в крупных льдогенераторах используется аммиак, хотя и ГХФУ-22 все еще остается востребованным хладагентом.

За последние 15 лет на рынке охлажденных продуктов наблюдался значительный рост полуфабрикатов, включая сэндвичи, салаты, фруктовые салаты и мясные полуфабрикаты. Во многих странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, также наблюдался рост ассортимента предлагаемых охлажденных продуктов.

#### Сохранение продовольствия замораживанием

Большие объемы рыбы и мяса замораживаются либо у источника (скотобойня, рыболовное судно или порт), либо после их подготовки или обработки. Замороженное продовольствие должно быть охлаждено для достижения внутренней температуры  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Существует несколько методов замораживания продовольствия и наиболее приемлемый процесс зависит от его размеров, формы и упаковки. Упаковки небольшого размера обычно замораживаются при помощи туннельных и спиральных морозильных аппаратов. Большие упаковки замораживаются на поддонах в интенсивном потоке воздуха или обрабатываются в контейнерах в больших пластинчатых морозильниках.

#### Спиральный фризер



Спиральные, туннельные и скороморозильные аппараты с интенсивным движением воздуха обычно работают при температуре испарителя  $-40^{\circ}\text{C}$ .

В странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, и в Северной Америке малые морозильники с мощностью 50 кВт и ниже чаще используют ГХФУ-22.

Большие морозильники (от 50 кВт до 200 кВт) обычно используют аммиак, который дает повышенную энергоэффективность и меньшие утечки хладагента.

### **Холодильное хранение**

Холодильное хранение относится к хранилищам и камерам, в которых поддерживается температура от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ . Холодильные хранилища (холодильники) могут варьироваться в размерах от  $100\text{ м}^3$  до  $100.000\text{ м}^3$ , и в последнем случае они могут состоять из нескольких камер хранения. Малые холодильники могут иметь потолок высотой 3–4 м, в то время как в крупных камерах высота может достигать до 12 м. Высота холодильного хранилища ограничивается только досягаемостью вилочного погрузчика для установки поддонов в стойках хранилища.

Небольшие хранилища часто оснащаются автономными холодильными системами, использующими ХФУ, ГХФУ и ГФУ в компрессорно-конденсаторных агрегатах. В пищевой промышленности такие системы могут нести побочную нагрузку в комбинации с большими морозильными установками.

В небольших холодильниках тепловая нагрузка определяется температурой и влажностью воздуха, поступающего снаружи через двери. Эта нагрузка может быть до  $50\text{ Вт/м}^3$ . С увеличением размера камеры эффект от проникновения наружного воздуха уменьшается. В стандартной холодильной камере такая нагрузка составляет около  $12\text{ Вт/ м}^3$ .

### **Технологические процессы**

Технологические процессы с применением искусственного охлаждения используются в химической, нефтегазовой и фармацевтической отраслях промышленности. Главным образом охлаждение используется для контроля температуры жидких теплоносителей. При высоких температурах наиболее часто используется вода, а для среднетемпературных применений – соляные и водно-гликолевые растворы. Там, где существует риск возникновения реакции с хладоносителем в случае утечек, а также для получения очень низких температур, могут быть использованы другие специальные жидкости.

Охлаждение также используется в промышленных процессах для производства льда с целью его последующего использования в химических реакциях. Лед генерируется в виде хлопьев или небольших цилиндров, которые можно хранить и транспортировать. Лед обычно добавляется в реакторы для контроля скорости реакции, поэтому требуются большие количества льда в течение короткого периода времени.

Производительность генераторов льда в этом случае намного превышает установки, используемые в пищевой промышленности, и в них в качестве хладагента обычно используется аммиак. Лед в хлопьях также используется в больших количествах для охлаждения бетона при строительстве крупных объектов, где он добавляется к замесу бетона во избежание перегрева и для сохранения его качественных и прочностных характеристик.

### **Сжижение газов**

Парокомпрессионный цикл охлаждения может быть использован для достижения температур до  $-170^{\circ}\text{C}$ , применяемых для сжижения газов (диоксида углерода, хлор, углеводороды и природные газы).

Сжижение криогенных газов, таких как кислород, воздух, водород и гелий достигается другим способом, хотя паровая компрессия, использующая аммиак или ГХФУ, может применяться в качестве одной из стадий процесса.

Эти заводы по производству сжиженных газов отличаются высокой степенью специализации и не будут рассматриваться в рамках настоящего руководства.

### **Промышленные тепловые насосы**

Крупные тепловые насосы промышленного назначения являются очень эффективным источником нагрева или охлаждения, для чего они используют (рекуперируют) тепло от других производственных процессов, которое обычно непригодно для применения или выбрасывается в окружающую среду.

Они широко применяются для систем центрального отопления и в коммерческих зданиях. Подавляющее большинство тепловых насосов, действующих в настоящее время, – это пароконденсационные системы замкнутого цикла с электрическим приводом, во многом аналогичные системам, используемым для промышленного охлаждения.

Они часто являются составной частью таких промышленных процессов, как сушка, выпаривание и ректификация. Большинство промышленных тепловых насосов применяется в химической и пищевой промышленности в диапазоне теплопроизводительности от 100 кВт до нескольких МВт. Из-за комплексной природы большинства промышленных процессов значительное количество систем тепловых насосов изготавливается по проекту заказчика.

Температуры испарения в таких системах обычно выше, чем в случаях с жилыми и коммерческими применениями, а температуры конденсации обычно находятся между 80 °С и 120 °С.

Промышленные тепловые насосы в качестве рабочей жидкости традиционно использовали ХФУ, ГХФУ или аммиак (R-717). Также, в нефтехимической индустрии для этих видов применения в небольших количествах используются углеводороды.

В небольших тепловых насосах в качестве одного из основных хладагентов все еще используется ГХФУ-22.

Заправка хладагента в промышленных тепловых насосах с замкнутым циклом варьирует в диапазоне от 0,1 до 2,5 кг/кВт теплопроизводительности, что приблизительно соответствует заправке в тепловых насосах, применяемых для жилых помещений и в торгово-промышленном применении, т.е. 1,0 и 0,5 кг/кВт для устройств, произведенных до и после 1994 г.

### **Транспортное охлаждение**

Транспортное охлаждение включает перевозку охлажденных или замороженных продуктов рефрижераторными судами, железнодорожными вагонами, контейнерами, грузовыми автомобилями и фургонами. Оно также включает охлаждение и кондиционирование воздуха на торговых кораблях с водоизмещением свыше 300 т и кондиционирование воздуха в пассажирских железнодорожных вагонах.

В большинстве случаев в транспортном охлаждении используются системы с парокомпрессионным циклом, приводимые в движение механическим двигателем, питающимся от движения транспортного средства или от независимого источника электроэнергии.

Транспортные системы охлаждения проектируются с большей надежностью, чем обычные системы, в силу вероятности возникновения ударной нагрузки или вибрации во время движения. Однако из-за неизбежной вибрации, внезапных разрывов и повреждений трубопроводов утечки хладагента все-таки случаются чаще.

Хотя ГХФУ-22 используется в различных применениях транспортного охлаждения, но его применение в этом секторе составляет относительно небольшую долю в общем объеме потребления ГХФУ. Краткое описание основных применений представлено ниже, хотя детальное рассмотрение этого вида охлаждения выходит за рамки данного руководства.

### ***Рефрижераторные суда и охлаждаемые контейнеры***

Рефрижераторные суда – это тип судов, обычно используемых для перевозки скоропортящихся продуктов питания, которые требуют контроля температуры. Чаще всего это фрукты, мясо, рыба, овощи, молочная продукция и другие продукты питания.

Почти на 90 % всех рефрижераторных судов все еще используется ГХФУ-22, и его заправка может быть в пределах от 1 до 5 т.

Так как практически все суда, выведенные недавно из эксплуатации и сданные на слом, были построены в 1970-х гг. и были оборудованы холодильными системами с заправкой от 1 до 5 т ГХФУ-22, общее количество этого хладагента на действующих в настоящее время судах было сокращено до 3.000 т.

### ***Торговый флот, военный флот и рыболовные суда***

Этот сектор покрывает широкое разнообразие типов судов и применений, так как почти все торговые и военные суда имеют холодильные хранилища для продовольствия и системы кондиционирования воздуха в жилых и рабочих отсеках.

Было оценено, что в целом от 70 до 80 % всех кораблей (около 45.000) все еще используют ГХФУ-22 в качестве хладагента. На остальных судах применяются системы с ГФУ и имеется также несколько каскадных систем с R-717/ R-744 на рыболовных судах.

### ***Автомобильный транспорт (трейлеры, дизельные и малые грузовые автомобили)***

Холодильные системы на автомобильном транспорте характеризуются очень высокими уровнями утечек. Средний уровень утечек в Европе оценивается в 25 % от заправки хладагента в год, и, следовательно, возможные уровни утечек в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, будут еще выше. Выбросы могут достигать 40 % для систем прямого привода (в большинстве используется ГФУ-134а). Для дизельных приводных систем уровень утечек составляет около 25 %, а для систем с электрическим приводом, работающих на R-410A, он ниже 10 %.

### Железнодорожные вагоны-рефрижераторы

Холодильный железнодорожный транспорт используется в Северной Америке, Азии, Африке, Австралии и Новой Зеландии. Движение холодильного железнодорожного транспорта по странам Европейского союза и Турции в основном управляется одной компанией.

Срок службы современных холодильных систем со средней заправкой хладагентом приблизительно 7,5 кг на систему составляет от 8 до 10 лет. Эти системы часто являются легко заменяемыми устройствами, которые изначально были разработаны для автодорожного транспорта, а затем были адаптированы для применения на железнодорожном транспорте.

Более старые устройства разработаны специально для железнодорожного использования и полностью интегрированы с самими железнодорожными вагонами. Ожидаемый срок службы таких систем соответствует сроку службы железнодорожного вагона, т.е. обычно около 40 лет. Заправка хладагента составляет приблизительно 15 кг на систему.

## Справочная информация

Название справочного документа	Источник
Холодильные системы и тепловые насосы – безопасность и требования окружающей среды – Часть 4: Действие, обслуживание, ремонт и восстановление, ISO TC 86/SC1 N176 Дата: 30.04.2006, ISO/CD5149-4, ISO TC 86/SC	Американский национальный институт стандартов (АНСИ)
Отчет по хладагентам, 13-я Редакция – А 501-13	Битцер Интернейшнл
Сетевой проект Углеродного фонда: пищевая промышленность; инициатива по повышению эффективности в холодильном секторе, Руководство 4: Сокращение R-22 и фторсодержащих газов; нормативы.	Углеродный фонд
СТV002 Обзор технологии: охлаждение, обзор энергосберегающих возможностей для бизнеса	Углеродный фонд
DuPont DP-1 Глобальная оценка ВКЖЦ. Конференция международного энергетического агентства, 23–24 октября 2006 г., Мэри Кобан, главный специалист технической службы DuPont фторпродукты	DuPont
Локализация, рециклирование и ретрофит ГХФУ, Джон Эллис, F.Inst.R., F.I.Diag.E, LCG	ООО «Эллис Обучение и Консультация»
Проект руководящих указаний по ОРВ; охлаждение, кондиционирование воздуха и тепловые насосы (ХФУ и ГХФУ), декабрь 2005 г.	Агентство по охране окружаю- щей среды, Ирландия
Кондиционирование воздуха и охлаждение. Руководство по выбору хладагента – 2003 г., Составлено и подготовлено С.А. Lommers, Dip. Mech.Eng., F.AIRAH, M.ASHRAE, ISBN 0-949436-41-0	Австралийский институт холода, кондиционирова- ния воздуха и теплоснабжения Inc., (АИХКВТ)
Отчет группы экспертов по технологической и экономической оценке, май 2008 г., Том 1, Отчет о ходе работ	ЮНЕП/ ГТОЭО
2006 г. Отчет по охлаждению, воздушному кондиционированию и тепловым насосам, Комитет по технической оценке, 2006 г., ISBN 978-92-807-2822-4	ЮНЕП/ ГТОЭО
Влияние сокращения ГХФУ-22 на производство чиллеров объемного расширения	Йорк Интернейшнл

