

## 9. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

### 9.1 Введение

Наиболее востребованным хладагентом в перечне ГХФУ в секторе охлаждения является ГХФУ-22.

На апрель 2008 Многосторонний фонд Монреальского протокола оценил общее потребление ГХФУ в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, в 25.765 тонн ОРП. При пересчете на метрические тонны это потребление составляет почти 363.400 метрических тонн, что превосходит сокращение потребления озоноразрушающих веществ, достигнутое до настоящего времени Многосторонним фондом.

Имеется ряд других ГХФУ, которые используются в секторе охлаждения, как например: ГХФУ-123 – в чиллерах, ГХФУ-124 и ГХФУ-142b – хладагенты прямого замещения в системах с ХФУ-12. В странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, отсутствуют производственные мощности для производства этих хладагентов, и к тому же используемые количества являются очень малыми по сравнению с ГХФУ-22.

Вероятно, что ГФУ и технологии, основанные на углеводородах, будут доступны и позволят Сторонам, действующим в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, выполнить меры регулирования ОРВ, намеченные на 2013 и 2015 гг. В рамках этих двух групп химических соединений имеется большое количество вариантов по замене как хладагентов ГХФУ, так и оборудования или систем. Хотя в целом каждая технология уже использовалась в проектах Многостороннего фонда Монреальского протокола, практические применения этих технологий в конкретных подсекторах могут значительно отличаться. Внедрение технологий с низким ППП для замены ГХФУ в секторе охлаждения и кондиционирования в странах 5-й Статьи Монреальского протокола имеет первоочередное значение. Однако в настоящее время большинство альтернатив ГФУ, доступных для использования в холодильном секторе, имеют более высокий ППП, чем ГХФУ, которые они могли бы заменить. С другой стороны, использование веществ с низким ППП, в частности углеводородов, влечет за собой появление проблемы безопасности.

Эти проблемы безопасности могут быть достаточно легко решены, однако это, в свою очередь, приведет к возрастанию капитальных затрат, подобным тем, которые возникают в секторе производства вспененных материалов. Дополнительно к этому возникает проблема обеспечения безопасности при монтаже и обслуживании оборудования.

Остается также неясным, когда и для каких применений появятся огнебезопасные низко-токсичные хладагенты с невысоким ППП.

### 9.2 Сфера применения ГХФУ

На протяжении более 60 лет ГХФУ-22 был преобладающим хладагентом в малых, средних и больших системах кондиционирования, за исключением центробежных чиллеров. Почти все производственные мощности небольших бытовых кондиционеров сконцентрированы в относительно небольшом числе стран, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

Согласно секретариату Многостороннего фонда Монреальского протокола, в 2008 г. предполагаемая доля потребления ГХФУ в холодильном секторе составляла более чем 97% от общего потребления ГХФУ в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

<b>Ожидаемое потребление ГХФУ в секторе охлаждения и воздушного кондиционирования (в/к) по каждому веществу (UNEP/OzL.Pro/ExCom/55/47, Приложение III)</b>				
<b>Вещество</b>	<b>Общее потребление (метрические тонны)</b>	<b>Потребление</b>	<b>Ожидаемое потребление в холодильном и секторе воздушного кондиционирования</b>	
			<b>метрические тонны</b>	<b>% от общего</b>
ГХФУ-22	247.200	Охлаждение и в/к, пеноматериалы	217.610	97,2
ГХФУ-123	3.700	Охлаждение и в/к	3.700	1,7
ГХФУ-142b	31.230	Охлаждение и в/к	1.640	0,4
ГХФУ-124	940	Пеноматериалы, охлаждение и в/к	940	0,7

### 9.3 Общие соображения

В случае ретрофита основными проблемами являются совместимость со смазочными маслами и температурный глайд хладагентов. В этих случаях смеси, используемые для замены ГХФУ-22 в новом оборудовании, не могут быть использованы.

Имеется широкий диапазон смесей, содержащих некоторое количество углеводородов, обычно пропана или бутана. Как правило, содержание углеводородов ограничивается, чтобы сохранить огнебезопасность хладагента по классификации A1, хотя даже небольшое содержание углеводородов (порядка несколько процентов) может значительно улучшить возврат масла в таких системах.

Внимание должно быть направлено на то, чтобы гарантировать совместимость рабочего давления хладагента со спецификацией оборудования и поддерживать существующую холодопроизводительность установки. Повышение холодопроизводительности может также вызывать определенные проблемы, так как в некоторых случаях комбинация увеличенной холодопроизводительности с низким коэффициентом полезного действия может привести к существенному увеличению токовой нагрузки в электродвигателе компрессора.

Большинство смесей, предназначенных для ретрофита ГХФУ-22, имеют существенный температурный глайд и поэтому не вполне подходят для использования в тех промышленных системах, где используются затопленные испарители. Это обстоятельство существенно ограничивает области применения ретрофита систем с ГХФУ-22 в промышленном холодильном секторе. Многие конечные потребители оборудования в этом секторе предпочитают эксплуатировать оборудование максимально долго, вплоть до его полной замены.

### 9.4 Выбор хладагентов для нового оборудования кондиционирования воздуха

Кондиционеры с воздушным охлаждением с холодопроизводительностью в диапазоне от 2 до 700 кВт, которые используются в жилом и коммерческом секторах для охлаждения или отопления (если они объединены с тепловыми насосами воздушного кондиционирования), представляют, вероятно,

самую распространенную область потребления ГХФУ-22 в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола. Автономные кондиционеры преобладают как в категории установленного, так и вновь произведенного оборудования. Автономные воздушные кондиционеры представляют широкий спектр оборудования в категории систем класса «воздух-воздух».

Комнатные кондиционеры (оконные, смонтированные в стене, передвижные) обычно имеют холодопроизводительность в диапазоне между 2 кВт и 10,5 кВт и содержат от 0,5 до 2 кг ГХФУ-22 (в среднем 0,75 кг). Эти устройства обычно производятся и заправляются на больших заводах с контролем качества и тестированием утечек, что гарантирует довольно низкий уровень утечек, порядка 2–3 % от начальной заправки ежегодно.

Бесканальные сплит-системы, мини-сплиты для одной комнаты и большие системы обычно имеют несколько внутренних испарителей/вентиляторов, соединенных с наружным блоком с холодопроизводительностью от 4 кВт и выше. Эти воздушные кондиционеры имеют среднюю заправку ГХФУ-22 в размере приблизительно 1,2 кг на систему. Эти системы обычно также производятся на больших заводах-производителях с соответствующим контролем качества и тестированием утечек. Однако эти системы устанавливаются на месте с использованием предварительно заправленных трубопроводов и соединений, что приводит к более высокой средней норме утечки для этих систем.

Сплит-канальные централизованные системы воздушного кондиционирования и тепловые насосы в жилом секторе состоят из компрессорно-конденсаторного агрегата (компрессор/теплообменник), установленного снаружи, который поставляет хладагент к одному или более внутренним теплообменникам, установленным внутри системы вентиляционных каналов здания. Холодопроизводительность таких систем находится обычно между 5 кВт и 18 кВт, и они содержат в среднем приблизительно 3,25 кг ГХФУ-22 на систему.

У корпусных систем класса «воздух-воздух» и сплит-систем для коммерческого кондиционирования воздуха, которые включают коммерческие крышные воздушные кондиционеры, диапазон холодопроизводительности может изменяться от 10 кВт до более, чем 350 кВт. Средняя заправка ГХФУ-22 составляет около 10,8 кг на систему, хотя заправка в значительной степени зависит от холодопроизводительности.

Показательные нормы утечки для последних трех категорий сплит-систем в целом указаны в руководствах и соответствующей литературе как 4–5 % от номинальной заправки ежегодно, хотя неподтвержденные данные указывают на выбросы до 15 % или более. Более высокие нормы утечки связаны с особенностями монтажа в зданиях, например, из-за необходимости осуществления большого количества соединений. Длительность работы системы также играет важную роль в этом отношении.

### Производство оконных кондиционеров



### Обслуживание сплит-системы кондиционирования воздуха



Чиллеры – компактные системы охлаждения, разработанные для охлаждения воды или соляных растворов в целях кондиционирования воздуха или реже – для охлаждения в процессе производства товаров или химических веществ.

Холодная вода или соляной раствор распределяется между оборудованием кондиционирования воздуха посредством теплообменников, устанавливаемых в различных частях здания. Холодопроизводительность изменяется в диапазоне от 7 кВт для водо-охлаждаемых чиллеров, оборудованных поршневыми и спиральными компрессорами, до приблизительно 700 кВт и выше для чиллеров, которые обычно работают с центробежными компрессорами. Центробежные чиллеры не используют ГХФУ-22.

ГХФУ-22 использовался для производства фактически всех чиллеров с винтовыми, спиральными и поршневыми компрессорами. В то время как чиллеры, работающие с R-134а, R-407C и R-410A, используются в странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, пользователи в странах 5-й Статьи Монреальского протокола продолжают закупать чиллеры с ГХФУ-22.

Так как чиллеры обычно изготавливаются на больших заводах с высоким уровнем контроля качества и эксплуатируются в достаточно благоприятных условиях, срок их службы достигает нескольких десятилетий до момента замены.

Хотя для обслуживания и ремонта каждой отдельной системы требуется не очень большое количество ГХФУ-22, большое число имеющихся чиллеров и их долгий срок службы продлевают зависимость стран от поставок ГХФУ-22.

## Варианты выбора хладагента

Обзор текущих предложений по воздушным кондиционерам указывает на то, что большинство не содержащих ГХФУ систем, рассматриваемых в настоящем разделе, используют смеси ГФУ в качестве хладагента или углеводородные хладагенты (портативные и малые устройства кондиционирования сплит-систем).

В числе рассматриваемых однокомпонентных хладагентов жизнеспособными вариантами считаются только R-134а, R-744 и R-290. Хотя R-134а и R-744 (CO<sub>2</sub>) являются технически зрелыми вариантами, коммерциализация кондиционеров с воздушным охлаждением, работающих с R-134а или R-744, была очень ограничена.

Ниже приводится краткая информация о наиболее приемлемых заменителях ГХФУ-22 в воздушных кондиционерах.

## Однокомпонентные хладагенты на основе ГФУ

Было исследовано несколько однокомпонентных хладагентов ГФУ для замены ГХФУ, используемых в настоящее время в кондиционерах с воздушным охлаждением. Однако ГФУ-134а остается единственным однокомпонентным ГФУ хладагентом, который отвечает требованиям для применения в этой категории оборудования.

ГФУ-134а не является прямым заместителем ГХФУ-22. Чтобы получить ту же самую холодопроизводительность, что и в системе с ГХФУ-22, производительность компрессора должна быть увеличена приблизительно на 40 % для компенсации меньшей объемной холодопроизводительности ГФУ-134а. Также необходимо осуществить существенную модернизацию оборудования для достижения эффективности и холодопроизводительности, эквивалентных системе с ГХФУ-22. Эта модернизация потребует установки теплообменников большего размера, увеличения диаметра трубопроводов подачи хладагента и повышения мощности двигателя компрессора.

Хотя ГФУ-134а является потенциальной заменой ГХФУ-22 в установках с воздушным охлаждением, он не нашел в них широкого применения, поскольку производители приступили к изготовлению систем кондиционирования с воздушным охлаждением меньшей стоимости, используя в них смеси ГФУ, такие как R-407C и R-410A. Преобладающее использование ГФУ-134а наблюдается в чиллерах с водяным охлаждением и в автомобильных кондиционерах. Представляется, что ГФУ-134а будет применяться в кондиционировании с воздушным охлаждением в ограниченных масштабах.

## Смеси на основе ГФУ

Для замены ГХФУ-22 в установках воздушного кондиционирования было разработано значительное количество смесей на основе ГФУ. Предлагаются различные составы на основе ГФУ-32, ГФУ-125 и ГФУ-134а в качестве озонобезопасных заменителей ГХФУ-22. R-410A и R-407C являются наиболее широко используемыми смесями на основе ГФУ.

**R-407C** R-407C – неазеотропная смесь трех газов ГФУ. Температурный глайд этой смеси – 4,9°C. За исключением этого недостатка эта смесь эквивалентна ГХФУ-22. Рабочие испытания с R-407C показали, что в кондиционерах, спроектированных должным образом, этот хладагент будет иметь холодопроизводительность и эффективность, отличающиеся на ± 5 % от эквивалентных систем с ГХФУ-22. Сообщается, что в системах с ретрофитом отклонение от начальных характеристик системы с ГХФУ-22 превосходит номинальные величины по мере увеличения наружных температур воздуха.

Оборудование кондиционирования воздуха с R-407C в настоящее время широко используется в Европе, Японии и других частях Азии. R-407C также имеет некоторое ограниченное использование в США и Канаде, где применяется прежде всего в коммерческих установках.

Так как хладагент R-407C требует лишь весьма ограниченной модернизации существующих систем с ГХФУ-22, эта смесь использовалась в качестве переходного хладагента для оборудования, первоначально разработанного для ГХФУ-22. Это явление наблюдалось в тех странах, где переход осуществлялся быстрее, чем изготовление нового оборудования, спроектированного для ГФУ-410A (страны Европы и Японии).

R-407C также может быть привлекательной альтернативой для автономных систем большой холодопроизводительности (более 50 кВт), которые потребовали бы существенной доработки проекта и крупных капитальных инвестиций в оборудование с целью использования хладагента с более высоким рабочим давлением, таким как R-410A.

В Европе R-407C использовался в качестве доминирующей замены для ГХФУ-22 в кондиционерах с воздушным охлаждением. В Японии R-407C применялся прежде всего в установках большой холодопроизводительности, таких как бесканальные и мульти-сплит системы, а также в системах с переменным потоком хладагента (Variable Refrigerant Flow, VRF). Однако многие из этих продуктов теперь начинают переводить с R-407C на R-410A с целью получения улучшенной эксплуатационной надежности (пониженный глайд) и повышенной эффективности, что в результате дает уменьшение размера и сокращение стоимости оборудования.

R-410A	<p>R-410A – двойная смесь, которая может заменить ГХФУ-22 в производстве нового оборудования. Эта около азеотропная смесь обладает небольшим температурным глайдом. Точка кипения R-410A приблизительно на 10 °С ниже, чем в случае с ГХФУ-22, но рабочие давления на 50 % выше, чем у ГХФУ-22.</p> <p>Кондиционеры с R-410A (до 175 кВт) в настоящее время коммерчески доступны в США, Азии и Европе. Значительная часть бесканальных кондиционеров продается в Японии и Европе, где R-410A теперь используется как предпочтительный хладагент. В США приблизительно 8% канальных систем для жилых помещений в 2004 г. использовали R-410A как хладагент. После 1 января 2010 г. канальные кондиционеры, продаваемые для использования в жилом секторе в США, преимущественно используют R-410A в качестве альтернативы ГХФУ-22.</p> <p>Давления в системе с этой смесью приблизительно на 50 % процентов выше, чем в системах с ГХФУ-22. Конструкция системы адаптирована к более высоким рабочим давлениям R-410A путем утолщения стенок корпуса компрессора и, сосудов, работающих под давлением (ресиверы, фильтры-осушители и т.д.). Теплообменники и трубопроводы также должны соответствовать более высокому рабочему давлению.</p>
R-417A	<p>Этот хладагент состоит из двух хладагентов ГФУ с небольшим количеством R-600 (бутан). R-417A – неазеотропная смесь, имеющая температурный глайд, подобный R-407C. R-600 добавлен к смеси с целью обеспечения возможности использования стандартных нефтяных минеральных и алкилбензолных масел. Этот хладагент был разработан прежде всего в качестве прямой альтернативы для ретрофита систем кондиционирования и холодильного оборудования с ГХФУ-22.</p> <p>Опубликованные данные по использованию этого хладагента в воздушном кондиционировании и в тепловых насосах показывают, что системы демонстрируют снижение коэффициента эффективности приблизительно на 12 % и холодопроизводительности на 20 %, по сравнению с системами с ГХФУ-22 в случаях, когда хладагент заправлялся в системы, первоначально разработанные для использования ГХФУ-22. Были предложены другие подобные смеси в качестве потенциальных сервисных хладагентов, такие как R-419A и R-422B.</p>

Было осуществлено несколько попыток по поиску альтернативных R-407C и R-410A ГФУ с более низкими значениями ПГП. Потенциальное использование ГФУ-1234yf (1,1,1,2-тетрафторпентен,  $\text{CF}_3\text{-CF}=\text{CH}_2$ ) и его смесей обсуждалось с 2007 г. ГФУ-1234yf имеет очень низкий потенциал глобального потепления (ПГП = 4), а его термодинамические свойства подобны ГФУ-134а. Этот хладагент имеет низкую токсичность и слабо огнеопасен. Его потенциал как альтернатива ГХФУ-22 нуждается в дальнейшем исследовании, поскольку это однокомпонентное соединение обладает более низкой, чем R-410A, эффективностью.

## Масла для систем с R-407C и R-410A

Нафтяные, основанные на минеральном масле, и алкилбензолные масла, обычно используемые в системах с ГХФУ-22, не смешиваются с хладагентами ГФУ. Значительное исследование было проведено для определения оптимальных смазочных комбинаций для систем с ГФУ.

Промышленностью рассматривались следующие категории смазочных материалов:

- Полиолефирные (синтетические) (ПОЭ);
- Поливинилэфирные (синтетические) (ПВЭ);
- Полиальфаолефинные (синтетические) (ПАО).

Из них ПОЭ – наиболее широко используемая смазка в системах с ГФУ хладагентами. Выбор смазки, которая будет использоваться с определенным ГФУ, проводится производителями компрессоров после всесторонних испытаний совместимости и надежности используемых материалов. Есть много практических недостатков в использовании масел ПОЭ. Они чрезвычайно гигроскопичны, что означает, что они очень легко поглощают воду из атмосферы. С этим необходимо бороться, поскольку

присутствие воды в холодильном контуре крайне нежелательно. Поэтому обращение с ПОЭ маслом требует особой тщательности. Системы должны быть вакуумированы и находиться в сухом и чистом состоянии перед заправкой хладагентом. Особое внимание должно уделяться хранению ПОЭ масел.

## Новые смеси хладагентов

За последнее время на рынке появилось много смесей хладагентов для обслуживания существующих воздушных кондиционеров и тепловых насосов, использующих ГХФУ-22.

Они обычно состоят из двух или более компонентов ГФУ в сочетании с небольшим количеством какого-либо углеводородного хладагента. Добавление углеводородов предположительно позволяет этим смесям работать с существующим компрессором и смазочными материалами. Однако имеющаяся опубликованная информация относительно работы и надежности систем воздушного кондиционирования, использующих эти смеси, весьма ограничена. Необходимо накопить практический опыт для определения пригодности этих смесей для обслуживания, ретрофита или прямого замещения хладагентов.

## Углеводородные хладагенты

Был проведен ряд рабочих сравнений R-290 (пропан) с ГХФУ-22. Результаты этих сравнений показали, что системы с R-290 имеют несколько более высокую эффективность, чем базовые системы с ГХФУ-22. Эти результаты получены в условиях прямого замещения хладагента, исключая системы с промежуточным хладоносителем. С точки зрения эффективности системы с R-290 более предпочтительны, чем с ГФУ и смесями ГФУ.

По сравнению с ГФУ, углеводородные хладагенты в целом требуют снижения дозы заправки в единицах массы (но не обязательно с точки зрения объема) в размере приблизительно 0,10–0,15 кг/кВт холодопроизводительности, они смешиваются с минеральными маслами (синтетические масла не требуются), работают при более низких температурах нагнетания компрессора и обладают улучшенной теплопередачей в силу более благоприятных термофизических свойств.

Главным образом негативные факторы применения углеводородных хладагентов в системах воздушного кондиционирования относятся к проблемам безопасности, обращению с хладагентом, технологии монтажа оборудования и требованиям к квалификации и навыкам обслуживающего персонала. Возможно, что потребуются также изменить конструкцию компрессоров, адаптируя их к другим физическим свойствам. Известно, что европейский и международный стандарты в целом ограничивают использование углеводородных хладагентов для видов применения, имеющих уровни заправки хладагента выше 1 кг. В системах с уровнями заправки хладагента ниже 150 г. текущие и будущие требования безопасности могут быть достаточно легко удовлетворены без чрезмерных затрат.

При проектировании новых систем кондиционирования с R-290 или другими огнеопасными хладагентами необходимо выполнять все существующие требования безопасности и нормативы. Эти требования могут существенно различаться в разных регионах мира. Технология монтажа и методы обслуживания оборудования должны быть скорректированы, чтобы исключить дополнительные риски для технического персонала, связанные с огнеопасными хладагентами.

В случае применения огнеопасных хладагентов важно иметь в виду требования относительно извлечения и регенерации хладагента. Хотя углеводородные хладагенты имеют минимальное

воздействие на окружающую среду, важно существует необходимость избирательного извлечения хладагентов во время обслуживания и в конце срока службы оборудования, чтобы обезопасить персонал, ответственный за утилизацию оборудования. Важно гарантировать применение адекватных процедур при извлечении и регенерации хладагентов для обеспечения безопасности, а также, чтобы исключить их смешивание.

Окончательное решение относительно рентабельности использования углеводородных хладагентов в кондиционерах с воздушным охлаждением будет зависеть от того, насколько дорогостоящими будут дополнительные затраты по обеспечению безопасности по сравнению со стоимостью разработки и производства оборудования, основанного на других озонобезопасных хладагентах.

Ряд исследований и практический опыт работы холодильного оборудования с углеводородными хладагентами подтверждают возможность его эксплуатации с использованием минеральных масел. Каталоги изготовителей компрессоров рекомендуют использовать минеральные масла и синтетические ПОЭ смазки в компрессорах с углеводородными хладагентами.

R-290 можно рассматривать как альтернативный хладагент для замены ГХФУ-22 в торговых автоматах.

## Диоксид углерода (R-744)

Диоксид углерода (R-744) как хладагент обладает целым рядом преимуществ, таких как доступность, низкие токсичность и ПГП, цена.

Считается, что в кратко- и среднесрочной перспективе системы с R-744 станут более компактными, хотя и более дорогими, чем системы с ГХФУ-22.

К сожалению, эти положительные особенности нейтрализуются тем, что системы воздушного кондиционирования с R-744 могут иметь низкую энергоэффективность в режиме охлаждения и очень высокие рабочие давления.

Холодильный цикл R-744 отличается от парокompрессионного цикла тем, что конденсатор заменен газовым теплообменником для охлаждения диоксида углерода после сжатия в компрессоре. Это объясняется тем, что R-744 не будет конденсироваться при типичных рабочих температурах кондиционирования, которые выше критической точки R-744.

Типичные рабочие давления в газовом охладителе для систем R-744 составляют 14.000 кПа. Имеется ряд противоречивых данных по работе систем воздушного кондиционирования с R-744. Некоторые из этих данных показывают существенное падение эффективности с R-744 в сравнении с ГХФУ-22, но в то же время другие публикации указывают на равную или более высокую эффективность.

Отсутствие на рынке коммерчески доступных воздушно-охлаждаемых кондиционеров с R-744 является индикатором текущего состояния этой технологии.

Существенным барьером к коммерциализации воздушных кондиционеров с R-744 остается ограниченная доступность совместимых компонентов, таких как компрессоры, теплообменники и устройства контроля потока хладагента.

При этом многие фирмы-изготовители компрессоров докладывают на конференциях и в научных журналах об активных программах разработки компрессоров на R-744.



Эффективность систем R-744 может быть улучшена путем оптимизации конструкции системы и использования экспандеров хладагента, различных теплообменников внутреннего цикла и противоточных теплообменников, которые позволят реализовать преимущества теплофизических свойств R-744.

Диоксид углерода становится все более популярным в Японии, особенно для нагревания воды (при использовании тепловых насосов), где CO<sub>2</sub> может применяться с высокой эффективностью.

Учитывая текущее состояние технологии и ограниченную коммерческую доступность компонентов, R-744, как ожидают, не будет играть существенную роль в замене ГХФУ-22 в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, по крайней мере в течение нескольких лет.

## Чиллеры воздушного кондиционирования

ГХФУ-123 и ГФУ-134а продолжают оставаться самыми востребованными хладагентами для центробежных чиллеров.

Усовершенствование чиллеров успешно развивается в двух направлениях: повышение энергоэффективности и уменьшение выбросов хладагента. Повышение энергоэффективности стимулируется необходимостью решать проблемы глобального потепления и соответствовать новым, более жестким стандартам и нормативам в области энергопотребления, принятым многими Сторонами Монреальского протокола.

Уменьшение выбросов хладагента достигается путем совершенствования конструкции и методов обслуживания. Во многих странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, происходит замена (иногда называемая конверсией) чиллеров с ХФУ на более энергоэффективные с ГХФУ-123 или ГФУ-134а.

Главная причина замены состоит в снижении энергозатрат, так как современный средний чиллер потребляет на 35% меньше электроэнергии по сравнению со средним чиллером, изготовленным 20 лет назад.

Новые чиллеры используют спиральные компрессоры в диапазоне от 7 кВт до 350 кВт и винтовые компрессоры в диапазоне от 140 кВт и приблизительно до 2.200 кВт. Эти чиллеры преимущественно используют ГФУ-134а в качестве хладагента, но системы со спиральными компрессорами теперь начинают использовать и R-410A.

Важной тенденцией в ряде развитых стран является ускоряющийся переход от ГХФУ-22 к новым чиллерам воздушного и водяного охлаждения.

ГХФУ-22 не может использоваться в новых чиллерах, выпускаемых во многих странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, после 1 января 2010 г., и недавно произведенный чиллер с ГХФУ-22 не может обслуживаться в Европе после этой даты.

ГХФУ-22 все еще используется, прежде всего, в чиллерах с компрессорами прямого вытеснения, включающих поршневые, винтовые и спиральные компрессоры. Изготовители таких чиллеров перепроектировали свою продукцию с тем, чтобы использовать хладагенты ГФУ.

Чиллеры с холодопроизводительностью приблизительно до 350 кВт в основном перепроектируются на использование R-410A. Чиллеры с более высокой холодопроизводительностью перепроектируются на использование ГФУ-134а.

Смеси, содержащие ГФУ и небольшие количества углеводородов, теперь предлагаются для обслуживания оборудования с ГХФУ-22. Они включают R-407C и R-422D (смесь ГФУ и углеводородов).

Аммиак и углеводороды могут также использоваться в чиллерах воздушного кондиционирования. Аммиак уже широко используется в некоторых странах 5-й Статьи Монреальского протокола. Оба этих хладагента имеют существенные проблемы безопасности, которые должны решаться принятием соответствующих нормативов и правил, регламентирующих практические методы обслуживания. Эти системы несколько отличаются от систем с воздушным охлаждением, так как хладагент обычно содержится в пределах помещения с контролируемой атмосферой, таких как машинное отделение, в то время как неопасный хладоноситель циркулирует в местах с присутствием людей.

#### Чиллер большой производительности



В странах, где аммиак уже используется, этот хладагент мог бы обеспечить соответствующую альтернативу чиллерам с ГХФУ-22. Однако использование больших объемов аммиака в чиллерах потребует принятия новых нормативов в большинстве стран, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

## Обзор альтернатив для нового оборудования воздушного кондиционирования

Текущие тенденции указывают, что в ближайшей перспективе смеси ГФУ останутся наиболее вероятными кандидатами на замену ГХФУ-22 в больших системах кондиционирования с воздушным охлаждением в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

Оборудование кондиционирования с воздушным охлаждением, использующее хладагенты ГФУ, уже коммерчески доступно в большинстве регионов мира, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

Системы, использующие хладагенты ГФУ, также становятся коммерчески доступными в некоторых странах 5-й Статьи Монреальского протокола, прежде всего в виде экспортной продукции.

Углеводородные хладагенты могут использоваться как замена ГХФУ-22 в некоторых категориях холодильного оборудования, особенно в тех областях применения, где используется оборудование с весьма малой заправкой хладагента. Существуют международные и некоторые региональные стандарты, которые разрешают использование углеводородных хладагентов при очень низком уровне заправки. Однако разработчики оборудования должны в первую очередь ориентироваться на международные и региональные стандарты, а не на местные нормы или национальные стандарты.

Роль и место углеводородных хладагентов в конечном счете будет определяться затратами, необходимыми для решения проблем безопасности.

Если бы углеводородные системы могли быть такими же безопасными, как их аналоги с ГФУ, окончательное решение относительно их коммерческой жизнеспособности зависело бы

только от экономических факторов, потребительского спроса, правил техники безопасности и стандартов.

Проводятся широкие исследования систем с R-744. Эти исследования сосредоточены на разработке компонентов, средствах моделирования и проектировании систем. Однако они прежде всего сконцентрированы в областях разработки систем автомобильного кондиционирования и водонагревателей. Так, R-744 используется в автомобильных воздушных кондиционерах в гибридных автомобилях. В Японии использование R-744 в тепловых насосах для горячего водоснабжения становится весьма популярным из-за его высокой эффективности. Разработки систем воздушного кондиционирования с воздушным охлаждением на базе R-744 отстают от технологий с ГФУ на многие годы.

Фирмы DuPont и Honeywell недавно разработали хладагент для почти прямого замещения ГХФУ-22 под названием ГФО-1234yf, который позволяет автомобильным производителям соответствовать требованиям Европейского союза по снижению ПГП. Научно-исследовательская работа проводится в Японии с использованием этого соединения и другого подобного соединения ГФО-1234ze. Хотя оба этих хладагента умеренно огнеопасны, у них очень низкий ПГП (4 и 6, соответственно).

Необходимо проведение дальнейших исследований для установления пригодности этих хладагентов (техническая сторона, цена, доступность) в различных областях применения, особенно в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

## 9.5 Выбор хладагентов для существующего оборудования кондиционирования воздуха

После начала сокращения применения ГХФУ как в странах, не действующих в рамках 5-й Статьи, так и в странах 5-й Статьи Монреальского протокола все еще будет существовать необходимость обслуживания установленного холодильного оборудования до конца их полезного срока службы. Обслуживание этого оборудования можно разделить на три категории: обслуживание и ремонт, прямое замещение хладагента или его перезаправка и ретрофит.

Все три варианта будут важны для стран, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, потому что системы в этих странах часто ремонтируются несколько раз с целью удлинения срока их службы.

В странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, больше распространена замена оборудования, так как затраты, связанные с выполнением серьезного ремонта, могут часто превышать стоимость нового оборудования.

Ремонт в стадии обслуживания – это любой ремонт, который выполняется в соответствии с нормальными методами обслуживания и использованием нового, извлеченного или регенерированного хладагента.

Прямое замещение или перезаправка проводятся с заменой хладагента, но без замены масла.

Хладагенты, отвечающие этим требованиям, иногда упоминаются как сервисные хладагенты. В случаях, когда прямое замещение ГХФУ-22 другим хладагентом приводит к значительной потере холодопроизводительности или эффективности, ретрофит будет более приемлемым вариантом.

Ретрофит включает в себя как просто замену хладагента, масла и фильтра-осушителя (если требуется), так и более серьезный ремонт с заменой компрессора, хладагента, масла, осушителя, ТРВ и промывкой системы для удаления всего остаточного масла. Полный ретрофит может оказаться существенно более дорогостоящим, чем обслуживание или ремонт с прямым замещением или даже замена установки.

## Хладагенты прямого замещения

Применение хладагентов прямого замещения не должно требовать никаких модификаций системы или только незначительной модификации системы, и, как минимум, система с новым хладагентом должна надежно функционировать с существующим нефтяным, минеральным или синтетическим алкилбензольным маслом, используемым в исходном оборудовании. При этом система должна в основном обеспечивать ту же холодопроизводительность, что и с исходным хладагентом.

Несколько сервисных хладагентов были предложены как потенциальные хладагенты прямого замещения. До недавнего времени использование хладагентов прямого замещения не было достаточно хорошо документировано. Хотя в последнее время появляется все больше информации на основе анализа данных из практики.

Недавно была зарегистрирована смесь R-424a, которая претендует на использование в виде хладагента прямого замещения для ГХФУ-22. Проведен определенный анализ практического использования этого хладагента, и в настоящее время его испытания продолжаются.

Сравнительные данные смеси хладагента R-424a					
R-424A		R-417A		R-422D	
ГФУ-134a	47 %	ГФУ-134a	46,6 %	ГФУ-134a	31,5 %
ГФУ-125	50,5 %	ГФУ-125	50 %	ГФУ-125	65,1 %
Изобутан (R-600a)	0,9 %		3,4 %		3,4 %
Изопентан	0,6 %				
n-бутан	1 %				

## Хладагенты для ретрофита

Хладагенты, которые требуют замены холодильного масла или компонентов системы, часто определяются как хладагенты для ретрофита. Применение хладагентов для ретрофита вероятно не будет экономически выгодно в тех случаях, когда требуется замена компрессора или теплообменников.

R-407C был признан как приемлемый хладагент для ретрофита систем с ГХФУ-22. Несмотря на некоторую потерю в холодопроизводительности и эффективности в некоторых регионах он широко используется как хладагент для ретрофита. Его холодопроизводительность весьма сходна с ГХФУ-22, но его применение требует замены исходного нефтяного минерального или синтетического алкилбензольного масел. При ретрофите систем с ГХФУ-22 фильтры-осушители должны быть заменены на те, которые совместимы с R-407C.

Потребность и положение на рынке хладагентов прямого замещения и ретрофита в значительной степени будет определяться количеством установленного оборудования, работающего на

ГХФУ-22, графиком сокращения потребления ГХФУ, допустимым остаточным сроком эксплуатации, а также методами извлечения и регенерации хладагента на местах.

Термин «допустимый остаточный срок эксплуатации» применяется в этом контексте для определения отрезка времени между датой, когда было прекращено потребление хладагента для использования в новом оборудовании и датой, когда прекращается использование этого хладагента для целей обслуживания оборудования. Ожидается, что ретрофит и хладагенты прямого замещения будут важны для стран, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, из-за ограниченного капитала, доступного для производства новых систем на основе озонобезопасных хладагентов, вследствие более продолжительных сроков службы оборудования, а также из-за обычной практики продолжать техническое обслуживание вместо замены установки после серьезной неисправности.

Средний срок службы воздушных кондиционеров и тепловых насосов в странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, обычно составляет около 15 – 20 лет. Средний срок службы такого же оборудования в странах 5-й Статьи Монреальского протокола может быть более долгим. Следовательно, осуществление программ по извлечению и регенерации хладагентов наряду с использованием хладагентов прямого замещения и ретрофита в этих странах могут помочь уменьшить потребности в ГХФУ-22.

Коммерциализация хладагентов для проведения ретрофита должна продолжиться, потому что они будут пользоваться высоким спросом в странах 5-й Статьи Монреальского протокола.

## Углеводороды как хладагенты прямого замещения

Известно, что R-290, R-270 и смесь R-290/ R-270 использовались в некоторых случаях для прямого замещения ГХФУ-22. Хотя эти хладагенты могут обеспечить близкие к ГХФУ-22 холодопроизводительность и эффективность, такая замена создает существенное беспокойство в отношении их безопасного использования из-за высокой огнеопасности этих хладагентов.

Если углеводороды рассматриваются для использования в качестве хладагентов, то необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и правила их использования. Во многих случаях затраты на соблюдение этих требований могут быть слишком высокими, чтобы оправдать применение углеводородных хладагентов для прямого замещения ГХФУ-22.

## 9.6 Выбор хладагентов для нового торгового холодильного оборудования

Торговые холодильные системы представляют собой широкий спектр оборудования охлаждения. Три главных подсектора – это автономное оборудование, холодильные агрегаты и централизованные системы холодоснабжения для супермаркетов.

Торговое холодильное оборудование в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, часто производится локально или в масштабах отдельного региона на предприятиях малого и среднего размера.

### Производство торгового холодильного оборудования



## Автономное оборудование

Автономное оборудование состоит из жестко интегрированных компонентов. Переход к озонбезопасным хладагентам в этом оборудовании завершен в развитых странах, и использование этих систем также растет в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

ГФУ-134А	Доминирующий альтернативный хладагент в США, включая автономные охлаждаемые витрины, где заправка хладагента превышает 0,5 кг.
CO <sub>2</sub>	Некоторые многонациональные компании продолжают переходить от технологий с высоким ПГП к технологиям с низким ПГП, таким как CO <sub>2</sub> и R-290 (пропан). Хотя наблюдалось некоторое потребление CO <sub>2</sub> в торговых автоматах, эта тенденция, видимо, не будет быстро расти из-за относительно высокой стоимости этого оборудования. Общее количество торговых автоматов, использующих CO <sub>2</sub> , в 2007 г. оценивается приблизительно в 90.000 единиц. Важное преимущество цикла с CO <sub>2</sub> – его способность генерировать низкие и высокие температуры в той же самой установке, используя тот же самый термодинамический цикл.
R-600А (Изобутан)	Для малых торговых морозильников R-600a (изобутан) является предпочтительным хладагентом из-за его малой заправки, высокой производительности и низкого ПГП; он технически и экономически оправдан приблизительно для 80 % рынка торговых автоматов.

## Холодильные агрегаты

Компрессорно-конденсаторные (холодильные) агрегаты применяются во многих мини-маркетах и продуктовых магазинах для охлаждения малой холодильной камеры и одной или более витрин. Холодопроизводительность таких агрегатов варьирует от 5 до 20 кВт и большинство холодильных агрегатов работают при температурах испарения в диапазоне между –10 и –15 °С. Несколько холодильных агрегатов (до 20), установленных параллельно на несущей раме, можно увидеть в машинных отделениях больших продовольственных магазинов.

Использование нескольких малых холодильных агрегатов безусловно уступает по энергоэффективности установке одной, специально спроектированной малой централизованной системе, но холодильные агрегаты выбираются по причинам менее высокой первоначальной инвестиционной стоимости, легкости монтажа и доступности для поставки крупными компаниями в виде, готовом для установки.

Существенный прогресс в проектировании торговых систем охлаждения мог бы дать анализ затрат в течение жизненного цикла оборудования, включая потребление энергии и затраты на обслуживание.

R-134a R-404A R-507A	В странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, для нового оборудования средней и низкой температуры очевидное предпочтение отдается использованию ГФУ-134а, особенно в системах с заправкой хладагента больше, чем 1 кг. R-404A и R-507A используются для замены ГХФУ-22, особенно в низкотемпературном охлаждении.
R-290 R-600a R-134a R-404A	В некоторых европейских странах на рынке имеются холодильные агрегаты, использующие углеводороды, но их доля составляет менее 5 %. ГХФУ-22 - все еще широко используемый хладагент в странах 5-й Статьи Монреальского протокола. Новые системы с ГФУ-134а и R-404A встречаются для некоторых видов применения.

R-422D	Этот хладагент разработан для ретрофита систем с ГХФУ-22 с прямым расширением, работающих в среднетемпературном режиме с потенциальным использованием также для низкотемпературных систем. Анализ конкретных примеров показывает его успешное использование в торговых системах супермаркетов и стационарных системах кондиционирования, включая водоохлаждаемые системы. Ретрофит среднетемпературного оборудования с ГХФУ-22 проводится с использованием R-422D в широком масштабе в Европе, что инициировано прекращением в 2010 г. использования ГХФУ-22 для сервисного обслуживания.
--------	---

## Централизованные системы

Централизованные системы холодоснабжения подобны холодильным агрегатам за исключением того, что одна система часто включает в себя несколько компрессоров, которые параллельно обслуживают комплексы холодильного оборудования при различных температурных режимах. Такие системы имеют тенденцию к использованию в супермаркетах для снижения потребления энергии и увеличения запаса мощности. Размеры централизованных систем могут варьировать в зависимости от холодопроизводительности приблизительно от 20 кВт до более чем 1 МВт.

R-134a R-404A R-422D	ГХФУ-22 все еще является наиболее используемым хладагентом. Альтернативные хладагенты для централизованных систем – те же самые, как и для холодильных агрегатов. Однако в этих системах чаще происходят утечки, приводящие к значительным выбросам хладагента. Предпринимаются серьезные усилия для снижения уровней утечек путем использования двухступенчатых систем со вторичным хладоносителем, также как и для распределенных систем.
R-290 R-600a	В Европе для низкотемпературных режимов хладагент CO <sub>2</sub> используется в двухступенчатых системах, а также в низкотемпературных контурах каскадных систем. В таких системах R-404A, R-717 (аммиак) или R-290 могут использоваться в первичном каскаде. Первичный хладагент содержится в более компактном холодильном контуре. Это не только позволяет использовать огнеопасные хладагенты, но и уменьшает заправку первичного хладагента. Таким путем заправка в этих системах уменьшается на 30–40%, что также приводит к пониженным уровням выбросов хладагента.
CO <sub>2</sub> R-404A Гибрид	Европейские компании предлагают гибриды между одно- и двухступенчатыми системами. В этом случае CO <sub>2</sub> используется как хладагент в низкотемпературном контуре с температурой испарения приблизительно –35 °С и температурой конденсации –12 °С с давлением в трубопроводах и компонентах, не превышающим 2,5 МПа. Тепло конденсации этого низкотемпературного контура с CO <sub>2</sub> удаляется жидким теплоносителем в среднетемпературном контуре. Таким образом, тепло, генерируемое в контуре с CO <sub>2</sub> , поступает в среднетемпературный контур и затем выбрасывается наружу среднетемпературной компрессионной холодильной системой. Эта концепция использовалась в очень больших супермаркетах и, как утверждают, покрывает те же самые начальные затраты, как прямые системы с R-404A, потому что заправка R-404A в этом случае уменьшается с 1,5 тонн до менее чем 250 кг. Системы с R-404A работают в больших супермаркетах с использованием этой гибридной технологии.

Количество ретрофита с применением ГФУ увеличилось в США с конца 2007 г., но все еще представляет относительно малый процент от общего числа установленного оборудования.

ГХФУ-22 остается доминирующим хладагентом в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, как в новом оборудовании, так и для сервиса.

В Европе и Японии хладагенты ГФУ являются предпочтительными для использования в новом оборудовании. Европейские нормативные правовые акты в отношении фторсодержащих газов

(F-газов) строго регулируют утечки хладагента, однако в странах, не относящихся к североевропейскому региону, нормы выбросов от оборудования оцениваются в 15–20% от величины полной заправки ежегодно.

Выбросы хладагента являются самыми низкими в супермаркетах и самыми высокими в гипермаркетах.

## 9.7 Выбор хладагентов для существующего торгового холодильного оборудования

ГХФУ использовались и для нового оборудования и для ретрофита оборудования с ХФУ-12. Для систем охлаждения с длительным сроком службы (до 15 лет и больше) переходные смеси на основе ГФУ, такие как R-413A использовались для ретрофита среднетемпературных систем с ХФУ-12, а R-417A или R-422B для ретрофита низкотемпературных систем с R-502 и даже ГХФУ-22.

### Автономное оборудование и холодильные агрегаты

Имеются три варианта эксплуатации оборудования в зависимости от ожидаемых затрат и остаточного срока службы оборудования:

- Избавление от старого оборудования и покупка нового оборудования с озонобезопасным хладагентом;
- Ремонт и перезарядка тем же хладагентом;
- Ремонт и заправка озонобезопасным хладагентом.

Более детально эти варианты описаны в главе 10.

### Централизованные системы

В развитых странах оборудование частично или полностью обновляется каждые 7–10 лет, в зависимости от страны. В странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, срок службы оборудования значительно больше – от 15 до 25 лет и, таким образом, применение ретрофита позволяет избежать затрат на замену системы охлаждения.

Технически возможно перейти от ГХФУ-22 к использованию хорошо известных и новых смесей на основе ГФУ хладагентов. Первоначально R-404A или R-407C были разработаны и применялись в случаях, когда остаточная стоимостная ценность системы охлаждения превышала стоимость ретрофита (замена хладагента, холодильного масла и промывка системы охлаждения).

При таком ретрофите потери энергоэффективности составляют 5–10% из-за различия в термодинамических свойствах альтернативных хладагентов по сравнению с ГХФУ-22.

Новые ГФУ смеси R-417A и R-422B были специально разработаны для проведения ретрофита систем с ГХФУ-22 без замены холодильного масла, но с возможными потерями холодопроизводительности.



Несколько новых смесей хладагентов выходят на рынок по мере того, как ускоряется сокращение потребления ГХФУ-22. Недавно зарегистрированный хладагент R-424a, который также претендует быть хладагентом прямого замещения, подобен R-417A, но с более высокой холодопроизводительностью. Этот хладагент дополнительно содержит комбинацию изопентана, бутана и изобутана, которая обеспечивает улучшенный возврат масла в компрессор, оставаясь при этом неогнеопасным.

## **Специфические проблемы в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола**

Во многих странах 5-й Статьи Монреальского протокола даже в больших супермаркетах предпочитают использовать автономные холодильные устройства, а не охлаждаемые модули, напрямую связанные с централизованной системой холодоснабжения. Очевидный недостаток автономных устройств в том, что они выбрасывают все тепло внутри торгового помещения. В этом случае необходимо устанавливать систему кондиционирования воздуха с тем, чтобы поглотить это дополнительное тепло. В противном случае температура в супермаркете может достигнуть очень высоких показателей (выше 30 °C и иногда выше 40 °C), что приведет к потере холодопроизводительности автономных секций. Более того, полная энергоэффективность супермаркетов, использующих автономные секции, низка, потому что энергоэффективность малых компрессоров ниже, чем подобных компрессоров среднего и большего размера.

Это же касается холодильных агрегатов, когда эти устройства заменяют большие компрессоры. Некоторые супермаркеты в странах 5-й Статьи Монреальского протокола используют несколько холодильных агрегатов, установленных параллельно, чтобы охлаждать серию витрин. Таким образом, можно обнаружить стойки с тремя – четырьмя компрессорами необходимой мощности вместо стойки с 20-ю или более холодильными агрегатами.

Предпочтение отдается такому неэффективному способу из-за низкой инвестиционной стоимости и вследствие широкого наличия холодильных агрегатов. Более того, эти холодильные агрегаты производятся большими партиями в самих странах 5-й Статьи Монреальского протокола, что позволяет избегать импорта больших компрессоров. Энергопотери из-за использования холодильных агрегатов составляют до 30–50% по сравнению с эффективностью больших компрессоров.

## **Модернизация оборудования и его обслуживание в странах 5-й Статьи Монреальского протокола**

Ретрофит торгового холодильного оборудования представляет с точки зрения экономии затрат особый интерес в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола. Для проведения надежного ретрофита необходимо соответствующее обучение сервисных техников. Для многих сервисных компаний знания и оборудование не всегда доступны в тех странах, в которых они больше всего необходимы.

Ретрофит требует замены холодильного масла и выполнения многих технических требований. Необходимо тщательно подбирать фильтр-осушитель и, что еще более важно, необходимо грамотно определять пригодность новых полиэфирных масел.

В странах 5-й Статьи Монреальского протокола многие сервисные компании все еще испытывают недостаток в адекватном наборе сервисного оборудования и инструментов, таких как: установки для извлечения и регенерации хладагента, соединительные шланги, баллоны

для хранения регенерированного хладагента, вакуумные насосы и точные весы. Все это оборудование необходимо, чтобы выполнить надлежащее извлечение хладагента, вакуумирование системы, промывку маслом, замену масла и аккуратную заправку новым хладагентом.

## 9.8 Выбор хладагентов для новых промышленных систем охлаждения

Промышленное охлаждение включает в себя: охлаждение при проведении технологических процессов, холодильное хранение и пищевую промышленность. Аммиак и ГХФУ-22 являются наиболее используемыми хладагентами.

В Европе оказывается давление на пользователей ГХФУ-22 в промышленном охлаждении, но все еще нет универсально признанных хладагентов прямого замещения для больших систем охлаждения с затопленными испарителями. Многие пользователи заменили старые холодильные установки новыми системами, использующими аммиак или, в некоторых случаях, каскадными системами аммиак/диоксид углерода. Но ситуация, сложившаяся в начале 2010 г., когда вступил в силу запрет на поставку недавно произведенного ГХФУ-22 для обслуживания, свидетельствует о том, что все еще имеется значительное количество пользователей с установками на ГХФУ-22.

Продолжается рост в использовании  $\text{CO}_2$  в промышленных системах в очень широком диапазоне применений, включая плиточные морозильники, скороморозильные аппараты, холодильные камеры, катки, холодильные хранилища, охлаждение в сфере информационных технологий и тепловые насосы.

Также продолжается рост в применении тепловых насосов, в особенности в интегрированных системах, которые используют тепло холодильных установок. Единый, универсально предпочтительный подход при этом отсутствует. Аммиачные системы имеют большое распространение. Растет также популярность систем на основе  $\text{CO}_2$ . Освоение этих технологий все еще ограничено доступностью оборудования, в особенности аммиачных компрессоров с высоким давлением и компрессоров для  $\text{CO}_2$  с еще более высоким давлением.

Продолжают быстро развиваться технологии низкотемпературных применений с  $\text{CO}_2$ , которые используют его как жидкий хладоноситель и как хладагент.

В США, Японии и Европе  $\text{CO}_2$  используется в новых малых и больших системах с холодопроизводительностью до 5 МВт. Благодаря финансовым субсидиям в Нидерландах продолжают устанавливать много новых систем с  $\text{CO}_2$ .

Использование систем с вторичным хладоносителем увеличивается, что является способом уменьшить количества аммиака, необходимого для заправки системы. В США, Японии и Европе продолжают исследования по использованию  $\text{CO}_2$  как хладагента и по смазочным материалам, совместимым с  $\text{CO}_2$ . Новые разработки компрессора для  $\text{CO}_2$  были уже внедрены в промышленное производство в 2004–2006 гг.

Выполняется ретрофит систем с ГХФУ-22 для использования  $\text{CO}_2$ , или систем с циркуляцией солевого раствора, особенно в холодильном секторе. Использование оборудования с малыми заправками  $\text{NH}_3$  устойчиво увеличивается и теперь стабильно расширяется в промышленных системах охлаждения.

В странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, использование ГХФУ-22 стабилизировалось или немного увеличилось в этом секторе. Однако некоторый интерес к озонобезопасным технологиям теперь также проявляется и в этих странах.

Там, где новое оборудование разрабатывается для проектов чистого производства или для восстановления существующих зданий у проектировщика имеется широкий диапазон выбора хладагента. Решение обычно основано на величине капитальных затрат, хотя рассматриваются и другие факторы, такие как: эксплуатационные расходы, стоимость обслуживания, вероятность утечки хладагента, здоровье и вопросы безопасности, а в некоторых конкретных случаях, легкость монтажа. Эти проблемы обсуждаются в следующих параграфах.

### R-717 (аммиак)

R-717 использовался как хладагент для охлаждения в промышленных процессах с 1872 г. и является предпочтительным для крупных установок в большинстве частей мира. Он очень ядовит в относительно маленьких концентрациях, но имеет отличительный, резкий запах, который ощущается на уровнях значительно ниже опасной концентрации, в результате чего вероятность случаев со смертельным исходом или тяжелым отравлением при эксплуатации систем с R-717 чрезвычайно низка. Он огнеопасен в относительно высоких концентрациях и, таким образом, определенные меры по обеспечению безопасности должны быть включены для промышленных систем, но практически возможность возгорания R-717 не вызывает особой обеспокоенности.

Продукты сгорания аммиака – азот и вода. Таким образом, возможность осложнений для безопасности в случае пожара в главном здании очень низка. В США и Канаде аммиак оставался предпочтительным хладагентом в пищевой и перерабатывающей отраслях промышленности в течение последних 50 лет и установки с ним являются типично большими с заправками в пределах от 5 до 100 тонн.

В промышленности в США и Канаде действуют жесткие нормативы и, хотя часто сообщают о малых утечках R-717, случаи со смертельным исходом или тяжелым отравлением относительно редки. Например, Совет по безопасности в химической промышленности США (СБХП) сообщает, что инциденты с R-717 составляют 11 % от всех несанкционированных выбросов химических веществ, о которых сообщают в США – в среднем один выброс в каждые пять дней, но было только четыре несчастных случая в десятилетний период с 1994 до 2004 гг.

Это сравнивается с более чем 800 смертельными случаями от удара молнии в США в тот же самый период времени. В Европе R-717 широко использовался в промышленном охлаждении в Великобритании и Германии, но его применение более жестко регулировалось во Франции, Бельгии, Нидерландах и Италии, где он менее распространен.

R-717 является наиболее широко принятой альтернативой ГФУ для больших систем в Скандинавии главным образом в результате ограничений и налогообложения на парниковые газы. R-717 менее широко используется в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, где он был заменен ХФУ с 1970 г., и совсем недавно ХФУ были заменены ГХФУ в меньших системах. Существует вероятность, что аммиак будет предпочтительной заменой для этих систем, когда потребление ГХФУ будет прекращено в этих странах, хотя, чтобы осуществить такую замену, потребуются принятие соответствующего законодательства и обучение подрядчиков и конечных пользователей.

В Европе смесь R-717 и HE-E170 (диметилаэфир) использовалась в некоторых применениях, чтобы улучшить возврат смазки в малых чиллерах прямого расширения. Он был также предложен как

хладагент для высокотемпературных тепловых насосов, поскольку это позволило бы иметь немного более высокие температуры конденсации в существующем оборудовании. Эта жидкость иногда обозначается как R-723, но она не была представлена для включения в ASHRAE 34 или ISO 817. Если бы эта смесь была классифицирована, она скорее всего была бы причислена к группе безопасности В3, что ограничило бы ее применение и ей не был бы предоставлен номер хладагента в 700 ряду

## ГФУ

ГФУ были введены как замена для ХФУ в конце 1980-х гг., но они не были приняты для широкого использования в промышленных системах. Капитальные затраты на общее количество хладагента и стоимость холодильных масел неприемлемо высоки для больших промышленных систем. Практический опыт показывает, что интенсивность утечек хладагента в менее крупных системах с этими хладагентами была достаточно высока и поэтому была бы неприемлема в промышленных системах. Исключения представляют большие центробежные чиллеры, где ГФУ-134а широко применяется, хотя эти устройства не используются в промышленных системах.

В небольших холодильных камерах и морозильниках R-404А и R-507А использовались для коммерческого применения обычно с полугерметичными компрессорами и холодильными агрегатами.

Хотя R-410А имеет превосходные характеристики для использования при низкой температуре, он редко использовался в промышленных системах, возможно из-за относительно высокой цены хладагента.

Для промышленной системы охлаждения стоимость заправки хладагента будет составлять около 5–10 % от общей стоимости системы. Финансовый риск, связанный с потерей заправки, является неприемлемо высоким для подрядчиков и конечных пользователей.

## R-744 (диоксид углерода)

В ситуациях, когда использование системы с R-717 (аммиак) невозможно или последствия утечек являются неприемлемыми, R-744 может использоваться в комбинации с установкой с R-717, чтобы снизить объем заправки R-717 и уменьшить последствия утечки. Впервые R-744 был использован в качестве хладагента в 1867 г. и стал очень популярным к концу девятнадцатого столетия, особенно для охлаждения в морском флоте, где он был предпочтительнее, чем R-717 из-за большей безопасности. Он утратил свою привлекательность в середине двадцатого века, когда системы охлаждения переходили от охлаждения конденсаторов речной водой и атмосферных конденсаторов на конденсаторы с принудительным испарением и конденсаторы, охлаждаемые воздухом, работающие при более высоких давлениях нагнетания. Это сделало R-744 очень неэффективным по сравнению с R-717.

R-744 завоевал расположение в конце двадцатого века как альтернатива аммиаку, будучи более безопасным в применении и как альтернатива ГФУ с учетом низкой стоимости и лучших эксплуатационных качеств. Он особенно хорошо подходит для морозильных систем низкой температуры, где высокое рабочее давление заставляет уменьшать диаметр трубопроводов и размеры компрессора, делая оборудование экономичным для установки и обслуживания. Работа испарителя плиточных морозильников значительно лучше с R-744, чем с любым другим хладагентом, делая его более предпочтительным для установок такого типа.

R-744 также успешно использовался в холодильных камерах и холодильных хранилищах, хотя его выгоды менее заметны в этих видах применения. Сообщается, что по сравнению с прямыми

системами R-717, установка системы с R-744 приблизительно на 5 % дешевле и имеет почти такие же эксплуатационные расходы. Другое исследование показало, что по сравнению с системами R-717/гликоль для холодильных хранилищ установка вторичной системы с R-744 оказалась приблизительно только на 1 % дешевле, чем система с гликолем, но на 15 % дешевле в эксплуатации.

Сравнение не является однозначным в этих случаях, потому что оно зависит от принятой спецификации для каждой системы. В случаях, упомянутых здесь, в первой системе использовалось электрическое размораживание, что более дешево для установки, но более дорого в эксплуатации. Во второй системе использовалось размораживание горячим газом. Стоимость такой системы выше, но эксплуатационные расходы значительно ниже. Если установка вторичной системы рассматривается с целью уменьшения заправки R-717, тогда система с R-744 окажется более рентабельной альтернативой, чем система с гликолем.

В настоящее время системы с хладагентом R-744 устанавливаются для высоко-температурных применений. Один из примеров – охлаждение сверхкомпактных серверов компьютеров в информационных центрах, где R-744 является безопасной альтернативой воде в применениях с высокой тепловой нагрузкой и где воздушное охлаждение не достаточно.

## Вода

О чиллерах, использующих сжатый водяной пар, иногда сообщали в течение прошедших десяти лет и часто в связи с реализацией крупных промышленных проектов, поскольку размер оборудования – главное препятствие к использованию таких чиллеров для охлаждения в зданиях.

Типовая холодопроизводительность чиллеров составляет от 1 МВт до 6 МВт. Промышленные проекты были узконаправленными и разработанная в их рамках технология, по-видимому, оказалась не приемлемой для более общего использования в пищевой промышленности или на предприятиях по переработке продуктов питания.

Эти системы могут быть приспособлены для производства водного льда и водолеяной суспензии, которые могут использоваться в качестве хладоносителей в холодильных установках, но они не способны к работе при более низких температурах, требуемых для большинства промышленных применений.

## 9.9 Выбор для существующих промышленных систем

За последние 20 лет был достигнут существенный прогресс в разработке хладагентов, заменяющих ХФУ и ГХФУ. В дополнение к этим гидрофторуглеродным альтернативам сообщалось также о нескольких случаях замены ГХФУ-22 на R-717 или R-744. Реализация таких проектов требуют специфической оценки совместимости материалов, давления в системе и пригодности оборудования, в связи с чем использование R-717 или R-744 для целей замены не может рассматриваться в качестве универсального подхода.

В случае рассмотрения возможности ретрофита особое внимание должно уделяться совместимости холодильного масла и температурному гайду, поэтому смеси, используемые для замены ГХФУ-22, не всегда пригодны для нового оборудования.

Существует широкий спектр смесей, содержащих небольшое количество углеводородов, обычно пропана или бутана. Содержание углеводородов обычно ограничивается, чтобы гарантировать

классификацию безопасности на уровне A1, но даже их небольшое процентное содержание может значительно улучшить возврат масла в этих системах.

Необходимо обращать внимание на совместимость рабочего давления хладагента с расчетным давлением системы, а также на необходимость поддерживать холодопроизводительность на оптимальном уровне. Повышение холодопроизводительности может вызывать проблемы. В некоторых случаях комбинация повышенной холодопроизводительности с пониженным холодильным коэффициентом системы может привести к пиковым токовым нагрузкам в электромоторе компрессора.

Большинство смесей, разработанных для ретрофита систем с ГХФУ-22, имеют существенный температурный глайд, в связи с чем они не очень подходят для использования в промышленных системах с затопленными испарителями. Это существенно ограничивает возможности для проведения ретрофита систем с ГХФУ-22 в секторе промышленного охлаждения для многих конечных потребителей, решивших сохранить имеющееся у них оборудование максимально долго до окончательной замены на новое оборудование.

## 9.10 Транспортные системы охлаждения

Транспортное охлаждение включает транспортировку охлажденных или замороженных продуктов судами-рефрижераторами, рефрижераторными контейнерами, железнодорожными вагонами-рефрижераторами и автодорожным транспортом (охлаждаемые трейлеры, дизельные и малые грузовые автомобили и фургоны). Оно также охватывает использование охлаждения и кондиционирования воздуха на торговых судах водоизмещением свыше 300 т и кондиционирование воздуха в железнодорожных вагонах.

Этот сектор постепенно переходит на ГФУ-134а, R-404А или R-507А и в более редких случаях – на R-407С и R-410А. Использование R-410А, как ожидается, увеличится в охлаждаемых грузовиках и трейлерах.

Диоксид углерода используется в транспортных системах все еще только на экспериментальной основе. Углеводородные хладагенты могли бы быть будущей альтернативой для грузовиков и трейлеров, но они не будут рассматриваться для охлаждаемых контейнеров, потому что они часто транспортируются ниже уровня палубы судна.

Аммиак стал чаще использоваться для охлаждения на борту судов, и также в нескольких случаях он был применен для кондиционирования воздуха.

Новые смеси и новые хладагенты, проходящие испытания в экспериментальных автомобильных системах кондиционирования, не рассматриваются в транспортном секторе охлаждения.

Текущие задачи в транспортном секторе охлаждения следующие: снижение заправки хладагента и повышение эффективности использования энергии.

Конденсаторы с водяным охлаждением для морских контейнеров в настоящее время составляют около 85 % парка одной основной компании контейнерных перевозок, что существенно уменьшило потребление энергии и сократило необходимое подпалубное пространство на судах.

В целом, системы с ГФУ-134а обеспечивают более высокую энергоэффективность в среднетемпературном диапазоне, чем R-404А, но требуют более мощных компрессоров и линий всасывания большего диаметра.

Системы с R-410A также достигают более высокой энергоэффективности, чем R-404A, при одновременном сокращении размера оборудования. В настоящее время предстоит решить задачу оптимального использования сбрасываемой теплоты в различных процессах для снижения суммарных выбросов диоксида углерода на судах.

## Справочная информация

Название справочного документа	Источник
Руководящие принципы по использованию углеводородных хладагентов в стационарных холодильных и системах воздушного кондиционирования ISBN 1 872719 13 9	Промышленный совет по охлаждению и воздушному кондиционированию (ПСОВК)
Системы охлаждения и тепловые насосы – безопасность и требования окружающей среды – Часть 4: Работа, обслуживание, ремонт и извлечение хладагентов ISO TC 86/SC 1 N 176, Date: 2006-04-03, ISO/CD 5149-4, ISO TC 86/SC 1	Американский национальный институт стандартов
Глобальный сравнительный анализ ГФУ и альтернативных технологий по охлаждению, воздушному кондиционированию, вспенивателям, растворителям, аэрозольным пропеллентам и средствам огнегашения, ссылка 49648	Arthur D. Little Inc.
Отчет по хладагентам, 13-я Редакция – A 501-13	Bitzer Int.
Сетевой проект углеродного фонда: Руководство № 4 по холодильной эффективности в пищевой промышленности: Регулирующие меры по сокращению потребления ГХФУ-22 и фторсодержащих газов	Углеродный фонд
СТV002 Обзор технологии охлаждения: Введение энергосберегающих возможностей для бизнеса	Углеродный фонд
Последствия ускоренного сокращения потребления ГХФУ для промышленного охлаждения и воздушного кондиционирования в Китае: Опыт США, Mack McFarland, Ph.D.	Симпозиум китайской ассоциации по охлаждению и кондиционированию воздуха, DuPont
Охлаждение и кондиционирование воздуха. Сокращение потребления ХФУ и ГХФУ: информация по альтернативам и руководящие принципы для пользователей	Департамент торговли и промышленности (ДТП), Правительство Объединенного Королевства
Улучшенная энергоэффективность в результате ретрофита домашних холодильников с заменой ГФУ-134a на углеводородную смесь прямого замещения (R-290/R-600a): M. Mohanraj, S. Jayaraj and C. Muraleedharan	Департамент технологии машиностроения, Национальный технологический институт Calicut-673601, Kerala, India
DuPont DP-1 Глобальная оценка ВКЖЦ, Конференция международного энергетического агентства, 23–24 октября 2006 г., Магу Кобан, главный специалист технической службы Дюпон Фторпродукты	DuPont
Сдерживание распространения, повторное использование и ретрофит ГХФУ, Джон Эллис, F.Inst.R., F.I.Diag.E, LCG	Эллис обучение и консультирование, ООО
Техническое совещание по сокращению потребления ГХФУ, 5–6 апреля 2008 г., Монреаль, Канада, протокол совещания	Европейская комиссия/ICF
Сравнительная эффективность хладагентов и последствия выбросов парниковых газов от chillеров, James M. Calm	Четвертый Международный симпозиум по парниковым газам, не являющимся диоксидом углерода (NCGG-4), Утрехт, Нидерланды, 4–6 июля 2005 г.

Название справочного документа	Источник
Охлаждение и устойчивое развитие: современное состояние – Отчет 2007 г. – 20-я годовщина Монреальского протокола, 10-я годовщина Киотского протокола	Международный институт холода (МИХ)
Безвредные для климата и другие альтернативные хладагенты: Новые оценки устойчивости, Akira Sekiya	Национальный институт передовых технических наук и технологии, Япония
Энергетика и последствия глобального потепления – не типовые заменители и альтернативы нового поколения ГФУ и ГХФУ S. K. Fischer, J. J. Tomlinson, P. J. Hughes	Национальная лаборатория Oak Ridge, США
Варианты и последствия замены ГХФУ естественными хладагентами в Китае, Dr. Daniel Colbourne и соавторы: Dr. Volkmar Hasse, Jürgen Usinger, Dr. Thomas Grammig, GTZ Proklima	Симпозиум по сокращению и технологии ОРВ, разработка заменителей ГХФУ, 7–8 декабря 2007 г., Пекин
Руководство по выбору хладагента в индустрии воздушного кондиционирования и охлаждения – 2003, Подготовлено: С.А. Lommers, Dip.Mech.Eng., F.Airah, M.Ashrae, ISBN 0-949436-41-0	Австралийский институт охлаждения, воздушного кондиционирования и теплотехники Inc., (АИОВТ)
Группа экспертов по технологической и экономической оценке: Отклик на решение XVIII/12, Отчет специальной комиссии по проблемам ГХФУ (Особое внимание воздействию Механизма чистого развития) и позитивные последствия уменьшения выбросов вследствие ускоренного сокращения потребления ГХФУ и других практических мер, август 2007 г.	ЮНЕП
Отчет группы экспертов по технологической и экономической оценке, май 2008 г., Том 1, Отчет о ходе работ	ЮНЕП/ГТОЭО
Отчет по охлаждению, воздушному кондиционированию и тепловым насосам, Комитет по техническим вариантам, 2006 г. Оценка, ISBN 978-92-807-2822-4	ЮНЕП/ГТОЭО
Аспекты замены ГХФУ в холодильных системах и оборудовании воздушного кондиционирования, Lambert Kuijpers, Co-Chair UNEP TEAP	ЮНИДО, Семинар по альтернативам ГХФУ, Вена, 18–20 февраля 2008 г.
Замена ГХФУ на ГФУ, НВВК перспективы производителей, Carol Marriott	ЮНИДО, Семинар по альтернативам ГХФУ, Вена, 18–20 февраля 2008 г.
Холодильные технологии, работа без ГХФУ и ГФУ, Презентация Janos Maté, Гринпис	ЮНИДО, Семинар по альтернативам ГХФУ, Вена, 18–20 февраля 2008 г.
Подходы к сокращению потребления ГХФУ, Отдел стратегии по охране озонового слоя МЭТП (Министерство экономики, торговли и промышленности) Sahi Research Center, Shinichiro MIKI	ЮНИДО, Семинар по альтернативам ГХФУ, Вена, 18–20 февраля 2008 г.
Агентство по охране окружающей среды; Отдел выполнения, Описание проекта в каучуковой промышленности и производстве пластмасс, 2-я Редакция, Главы I, II, и III, февраль 2005 г.	ЕРА, США
Смеси хладагентов, Steven R. Szymurski, Директор отдела исследований, Институт охлаждения и воздушного кондиционирования	Всемирный банк, 9-й ежегодный семинар для финансовых агентов, 1 апреля 2005 г.
Последствия сокращения потребления ГХФУ для чиллеров прямого расширения – периодическое издание	York International
Последствия сокращения потребления ГХФУ для чиллеров прямого расширения – периодическое издание	York International