

8. Хладагенты

В настоящее время используется много хладагентов и пенообразователей. Некоторые из них – однокомпонентные или чистые вещества, но многие являются смесями двух и более веществ. В целях логичности изложения этого руководства чистые вещества называются с использованием названий химических групп, например ГХФУ-22, ГФУ-134а, ГХФУ-141b.

Смеси хладагентов называются по так называемым R-номерам, которые соответствуют международным признанным классификациям для конкретных смесей веществ. Например, хладагент R-410a является смесью 50 % ГФУ-32 и 50 % ГФУ-125. Система R-нумерации описана ниже.

8.1 Краткая история

С конца 1880-х гг. до 1929 г. в холодильниках в качестве хладагентов использовались аммиак (NH_3), метилхлорид (CH_3Cl) и сернистый ангидрид (SO_2).

Проблемы безопасности, относящиеся к токсичности этих соединений, объединили усилия трех американских корпораций: Frigidaire, General Motors и DuPont в поиске более безопасных хладагентов.

В 1928 г. Томас Миджли в сотрудничестве с Альбертом Леоном Хенном и Робертом Ридом Макнари разработал вещество, которое они назвали «фреоном», в качестве заменителя для токсических газовых хладагентов.

Фреоны (в русскоязычной технической литературе – хладоны) представляют собой несколько различных хлорфторуглеродов или ХФУ – группы насыщенных алифатических хлор- и фтор-содержащих органических соединений, применяемых в качестве хладагентов, пропеллентов, вспенивателей и растворителей.

ХФУ – бесцветные, невоспламеняющиеся, некоррозионные газы или жидкости без запаха. Поскольку фреоны нетоксичны, то они устранили опасность, создаваемую утечками хладагентов. Спустя несколько лет фреон ХФУ-12 стал стандартным хладагентом для почти всех домашних холодильников.

Лишь несколько десятилетий спустя в 1973 г. профессор Джеймс Лавлок сообщил об открытии следов наличия этих хладагентов в атмосфере и в 1974 г. Шервуд Роулэнд и Марио Молина предсказали, что ХФУ, достигнув верхних слоев стратосферы, будут вызывать разрушение озонового слоя.

Гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) являются группой искусственных соединений, содержащих водород, хлор, фтор и углерод. Они так же, как и ХФУ, не существуют в природе. Производство ГХФУ существенно увеличилось после того, как Стороны Монреальского протокола согласились постепенно сократить использование ХФУ в 1990-х гг., хотя они использовались более 60-ти лет до этого.

ГХФУ обладают более низким, чем ХФУ, озоноразрушающим потенциалом (ОРП) и относительно высоким потенциалом глобального потепления (ПГП), хотя и ниже, чем у ХФУ.

Требование полностью прекратить потребление всех озоноразрушающих веществ привело к разработке других хладагентов (в первую очередь – ГФУ), не истощающих озоновый слой. Это также принудило инженеров и ученых пересмотреть отношение к естественным хладагентам, включая аммиак (NH_3), углеводороды и диоксид углерода (CO_2).

8.2 Названия хладагентов

Вместо названия хладагентов их сложными наименованиями при помощи химических формул или торговой марки были установлены международные стандарты, которые классифицируют хладагенты и обеспечивают их унифицированное наименование. Используются следующие основные стандарты:

ISO/CD 817:2007	«Хладагенты – обозначение и классификация безопасности»
ANSI/ASHRAE 34-2007	«Обозначение и классификация безопасности хладагентов»

Эти стандарты эквивалентны, в них принята общая система нумерации. Ответственные организации, принявшие и опубликовавшие эти стандарты:

ANSI	Американский национальный институт стандартов
ASHRAE	Американское общество инженеров по теплотехнике, охлаждению и кондиционированию воздуха
ISO	Международная организация по стандартизации

Международная организация по стандартизации является международной федерацией национальных комитетов по стандартизации (членов Международной организации по стандартизации). Работа по подготовке международных стандартов обычно выполняется через технические комитеты Международной организации по стандартизации.

Международные правительственные и неправительственные организации, связанные с Международной организацией по стандартизации, также принимают участие в ее работе. Стандарты готовятся в соответствии с правилами, изложенными в директивах ISO/МЭК, Часть 2.

Стандарт обеспечивает однозначный номер ссылки и определяет состав обычно используемых хладагентов, обозначая хладагент номерами ссылки с определенными приставками.

Стандарт также включает классификации безопасности, основанные на данных токсичности и воспламеняемости.

Стандарт постоянно обновляется, поскольку разрабатываются новые хладагенты. Обновленная версия 2007 г. содержит 16 новых хладагентов по сравнению с предыдущей версией.

Для того чтобы зарегистрировать недавно разработанный хладагент в соответствии с официальной международной классификацией хладагентов, фирма-разработчик должна предоставить заявление для присвоения номера хладагента и классификации его безопасности.

Американский национальный институт стандартов (ANSI) является единственным американским представителем, выплачивающим членские взносы в Международную организацию по стандартизации.

ASHRAE – Американское общество инженеров по теплотехнике, охлаждению и кондиционированию воздуха, цель которого состоит в том, чтобы продвигать научные достижения в области теплотехники, вентиляции, кондиционирования воздуха и охлаждения. Оно имеет 55.000 членов по всему миру. Справочник ASHRAE представляет собой руководство из четырех томов по теплотехнике, вентиляции, охлаждению и кондиционированию воздуха для инженеров и технического персонала и рассматривается в качестве одного из наиболее полных справочных изданий.

Система R-нумерации

Система R-нумерации была разработана компанией DuPont для системной идентификации молекулярной структуры хладагентов с единственным галогенизированным углеводородом.

Полное объяснение системы нумерации можно найти в стандарте ISO/CD – 817:2007. Однако большинство хладагентов классифицированы следующим образом:

«Приставка $n_3n_2n_1$ Суффикс»

Значения кодов следующие:

Приставка R = Хладагент

n_1	Число атомов фтора на молекулу
n_2	Один плюс число водородных атомов на молекулу
n_3	Число атомов углерода минус один
Суффикс	Суффикс строчной буквы <i>a</i> , <i>b</i> или <i>c</i> указывает нарастающие несбалансированные изомеры

Как особый случай, ряд R-400 составлен из смесей хладагентов. Это смеси других хладагентов, у которых точки кипения компонентов структуры отличаются достаточно сильно, чтобы привести к изменениям в относительной концентрации из-за фракционного расслоения. Они называются неazeотропными смесями.

Ряд R-500 составлен из так называемых азеотропных смесей. Самая правая цифра назначена произвольно ASHRAE.

Например, R-134a (тетрафторэтан)

Приставка	R	Хладагент	R = Хладагент
n_1	1	2 атома углерода	Количество атомов углерода минус 1
n_2	3	2 атома водорода	Количество водородных атомов на молекулу плюс 1
n_3	4	4 атома фтора	Количество атомов фтора в молекуле
Суффикс	a	Изомер разбалансирован одним атомом	Суффикс строчной буквы <i>a</i> , <i>b</i> , или <i>c</i> указывает нарастающие несбалансированные изомеры

Суффикс «а» указывает, что изомер разбалансирован одним атомом, давая 1,1,1,2-тетрафторэтан. У R-134 без суффикса «а» была бы молекулярная структура из 1,1,2,2-тетрафторэтана, который является составом, который оказался не особенно эффективен в качестве хладагента.

Недавно возникла практика использования наименования «ГФУ» для гидрофторуглеродов, «ХФУ» – для хлорфторуглеродов и «ГХФУ» – для гидрохлорфторуглеродов из-за регулирующих различий среди этих групп хладагентов.

Ряды хладагентов

Многочисленные альтернативные хладагенты, доступные на рынке сегодня, создают несколько запутывающую ситуацию для проектировщиков и подрядчиков. Стандарт обеспечивает систему нумерации хладагентов, устанавливающую обозначение приставок для различных групп хладагентов.

Группы номера хладагента ASHRAE следующие:

R-10 до R-50	Хладагенты ряда метана
R-110 до R-170	Хладагенты ряда этана
R-216ca до R-290	Хладагенты ряда пропана
R-316 до R-318	Циклические органические составные хладагенты
R-400 до R-411B	Неазеотропные смеси хладагентов
R-500 до R-509	Азеотропные смеси хладагентов
R-600 до R-620	Смешанные органические составные хладагенты
R-630 до R-631	Азотные соединения
R-702 до R-764	Неорганические соединения
R-1112a до R-1270	Ненасыщенные органические соединения

Коммерчески доступным неазеотропным смесям хладагентов были присвоены идентификационные номера в 400 ряду. Номер указывает на то, какие компоненты находятся в смеси, но не сообщает о пропорциях, в которых представлены компоненты. Буква, добавленная к номеру хладагента, различает неазеотропные смеси, имеющие те же самые компоненты в различных пропорциях.

Неазеотропные смеси изменяют свой состав во время кипения или конденсации. Так как смеси находятся в состоянии фазового перехода, один из присутствующих компонентов перейдет в другую фазу быстрее, чем остальные. Это свойство называют разделением на фракции. Изменяющийся состав жидкости заставляет температуру точки кипения меняться. Полное изменение температуры от одной стороны теплообменника к другой называется температурным скольжением. Неазеотропные смеси не могут быть определены только соотношением температура-давление. Скольжение температуры приводит к различным величинам температуры при данном давлении, в зависимости от того, сколько хладагента находится в жидкой фазе и сколько в паровой.

Азеотропная смесь – это смесь двух или более хладагентов в таком соотношении, что она формирует паровую фазу с той же самой концентрацией компонентов, как и в жидкой фазе, и кипит и конденсируется без изменения в концентрации.

8.3 Разработка альтернативных хладагентов

Прекращение потребления ХФУ в производстве новых систем охлаждения и кондиционирования воздуха теперь завершено в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола. Некоторые из них начали использовать ГХФУ в качестве альтернативных хладагентов в некоторых видах применения как для внутреннего рынка, так и для экспорта.

Наблюдалось также значительное сокращение использования ХФУ в сервисном обслуживании холодильного оборудования, благодаря применению передового опыта и модернизации холодильного оборудования для работы с альтернативными хладагентами (ретрофит).

Альтернативы ГХФУ-22 были исследованы в течение многих десятилетий изготовителями оборудования при постоянном сотрудничестве с учеными и специалистами. Наиболее приемлемой заменой, имеющейся на настоящий момент, считаются смеси на основе ГФУ, а именно: R-407C и R-410A. Поиск новых альтернативных хладагентов продолжается по причине воздействия на климат этих хладагентов, имеющих высокие ПГП.

Регулирование фторсодержащих газов (Ф-газов) и директива Европейского союза в области автомобильного кондиционирования воздуха (АКВ) дали новый стимул для научных исследований и разработки хладагентов с низким ПГП.

Проводятся исследования и экспериментальная работа по использованию CO₂ (R-744) и ледяной шуги как хладагентов для многих применений. Эти хладагенты обладают повышенной теплоемкостью и имеют улучшенный коэффициент теплопередачи, связанный с изменением фазового состояния.

Хладоноситель на основе ледяной шуги состоит из воды, содержащей ледяные кристаллы, и добавления другой жидкости, такой, как спирт, рассол или аммиак. Эта смесь используется как вторичный хладагент. Оптимизируя размер и общий объем ледяных кристаллов в ледяной шуге и создавая при этом однородный раствор с минимальной вязкостью, можно получить очень эффективный хладоноситель для распределения и сохранения холода. Ледяные жидкие растворы могут обеспечить более высокий эффект охлаждения при более низкой скорости потока.

Технические разработки в настоящее время сосредоточены на том, чтобы переходить от хладагентов с высоким ПГП к озонобезопасным хладагентам с низким ПГП при одновременном повышении энергоэффективности систем.

Недавно были зарегистрированы некоторые новые озонобезопасные хладагенты с низким ПГП, которые, как ожидается, обеспечат позитивный эффект для климатической системы.

Ряд новых наименований для хладагентов с нулевым ОРП были приняты в виде приложения к ASHRAE 34-2007.

Недавно одобренные обозначения хладагентов

R-429A	R-E170/152a/600a (60.0/10.0/30.0)
R-430A	R-152a/600a (76.0/24.0)
R-431A	R-290/152a (71.0/29.0)
R-432A	R-1270/E170 (80.0/20.0)
R-433A	R-1270/290 (30.0/70.0)

Недавно одобренные обозначения хладагентов

R-434A	R-125/143a/134a/600a (63.2/18.0/16.0/2.8)
R-435A	R-E170/152a (80.0/20.0)
R-436A	R-290/600a (56.0/44.0)
R-436B	R-290/600a (52.0/48.0)
R-437A	R-125/134a/600/601 (19.5/78.5/1.4/0.6)
R-510A	R-E170*/600a (88.0/12.0)

*E170 диметилловый эфир (CH₃OCH₃).

Эти новые обозначения отражают увеличенную коммерциализацию и рост популярности новых хладагентов.

В автомобильном кондиционировании разрабатывается и тестируется много новых озонобезопасных хладагентов с низким ПГП (≤ 150 в течение 100-летнего временного диапазона), чтобы соответствовать новым европейским нормативам по фторсодержащим газам. Предполагается, что некоторые из них будут иметь потенциал для более широкого применения.

8.4 Классификации групп безопасности

Введение

Стандартная классификация групп безопасности использует два алфавитно-цифровых символа, например A2 или B1, что позволяет определить безопасность определенного хладагента.

Заглавная буква указывает токсичность, а число обозначает огнеопасность. Существуют две категории токсичности и три категории огнеопасности.

Представление недавно разработанного хладагента в международные органы по стандартизации (ISO/ASHRAE) должно сопровождаться соответствующими данными, описывающими точную природу и свойства нового соединения. Детальное тестирование и анализ должны быть выполнены до представления хладагента в эти органы. Эта информация рассматривается авторитетными комитетами в этих органах, после одобрения которых хладагент официально регистрируется и ему присваивается R-номер с официальной классификацией безопасности.

Детальные процедуры и стандарты тестирования также применены к оценке токсичности и огнеопасности хладагента, чтобы гарантировать его соответствие принятой международной системе классификации.

Классификация токсичности

Хладагенты распределены на один из двух классов: A или B, основанных на следующей классификации:

Класс A Обозначает хладагенты, для которых токсичность не была идентифицирована при концентрациях меньше или равных 400 ppm (частей на миллион), основанных на

данных, обычно определяемых величиной предельно-допустимой концентрации, средневзвешенной по времени (ПДК-СВВ) или индексами концентрации.

Класс В Обозначает хладагенты, для которых есть свидетельство токсичности при концентрациях ниже 400 ppm, основанные на данных, обычно определяемых величиной ПДК-СВВ или индексами концентрации.

Классификация огнеопасности

Хладагенты распределены по трем, основанным на огнеопасности, классам: 1, 2 или 3.

Тесты проводятся в соответствии с международными стандартами (Американское общество по испытанию материалов E681-85) за исключением того, что источник воспламенения должен быть электрически активизирован головкой терочного воспламенения для галогеноуглеводородного хладагента.

Класс 1 Обозначает хладагенты, которые не вызывают распространения пламени при тестировании в воздухе при 101 кПа (стандартное атмосферное давление) и 21 °С.

Класс 2 Обозначает хладагенты, имеющие нижний предел воспламеняемости (НПВ) при концентрации больше, чем 0,10 кг/м³ в воздухе при 21 °С и 101 кПа, и теплоту сгорания меньше, чем 19.000 кДж/кг.

Теплота сгорания рассчитана исходя из предположения, что продукты горения газообразны и находятся в своем наиболее устойчивом состоянии. Например, углерод, азот и сера дают CO₂, N₂ и SO₃; фтор и хлор дают HF и HCl, если там достаточно водорода в молекуле; иначе, они дают F₂ и Cl₂; избыток водорода преобразуется в воду (H₂O).

Класс 3 Хладагенты класса 3 очень огнеопасны, т.к. их концентрация НПВ меньше или равна 0,10 кг/м³ при 21 °С и 101 кПа, а теплота сгорания больше или равна 19.000 кДж/кг.

Метод вычисления теплоты сгорания объяснен выше в определении категории класса 2.

Определения воспламеняемости отличаются в зависимости от цели. Например, Министерство транспорта США в целях транспортировки классифицирует аммиак (хладагент класса 2) как невоспламеняющийся газ.

Классификация безопасности смесевых хладагентов

Смеси, чьи воспламеняемость и/или характеристики токсичности могут измениться с изменением их состава во время разделения на фракции, должны быть классифицированы по двум группам безопасности с двумя классификациями, разделенными дробной чертой (/).

Каждая из этих двух классификаций была определена согласно тем же самым критериям, что и в случае однокомпонентного хладагента. Первая указанная классификация является классификацией, соответствующей формуле состава смеси. Вторая классификация – это классификация состава смеси для «худшего случая разделения на фракции».

Для воспламеняемости «худший случай фракционирования» определен как состав во время фракционирования, который приводит к высокой концентрации самого огнеопасного компонента или компонентов в паровой или жидкой фазе.

Для токсичности «худший случай фракционирования» определен как состав во время фракционирования, который приводит к самой высокой концентрации или концентрациям в паровой или жидкой фазе, для которого ПДК-СВВ меньше, чем 400 ppm.

ПДК-СВВ для указанного состава смеси был вычислен на основе ПДК-СВВ отдельных компонентов.

8.5 Классификация и статус хладагентов

Введение

Монреальским протоколом хладагенты были классифицированы с учетом степени воздействия на озоновый слой и их применимости в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе, а также графика сокращения потребления озоноразрушающих веществ.

В связи с тем, что ГХФУ по сравнению с ХФУ обладают более низким озоноразрушающим потенциалом, в рамках Монреальского протокола был принят расширенный график сокращения этих веществ, а сами ГХФУ были классифицированы в качестве переходных альтернатив. По этой причине ГХФУ и смеси на их основе широко внедрялись, особенно в странах 5-й Статьи Монреальского протокола, как переходные альтернативы ХФУ.

ГФУ считаются долгосрочными альтернативами с учетом их озонобезопасности, но их высокие потенциалы глобального потепления (ПГП) вызывают беспокойство, так как расширение их использования и рост прямых выбросов ГФУ может оказать значительное воздействие на изменение климата. В качестве парниковых газов ГФУ подпадают под юрисдикцию Киотского протокола, в связи с чем рядом стран, включая страны Европейского союза, осуществляются меры по регулированию их использования.

Законодательство Европейского союза (№ 842/2006) вступило в силу 4 июля 2006 г. и ряд мер по регулированию использования ГФУ вступил в действие уже 4 июля 2007 г. Следует отметить, что некоторые дополнительные меры все еще находятся в процессе доработки Европейской комиссией.

Таблица 15. Статус веществ

ГХФУ	Принимаются меры по сокращению потребления согласно Монреальскому протоколу
Смеси ГХФУ	Принимаются меры по сокращению потребления согласно Монреальскому протоколу
Чистые ГФУ	Выбросы контролируются согласно Киотскому протоколу
Смеси ХФУ	Выбросы контролируются согласно Киотскому протоколу
Чистые углеводороды	Применяются в соответствии с местными и национальными нормативами безопасного использования
Смеси углеводороды	Применяются в соответствии с местными и национальными нормативами безопасного использования
Природные хладагенты	Применяются в соответствии с местными и национальными нормативами безопасного использования

Фторсодержащие газы (F-газы) включают все хладагенты ГФУ, такие как R-134a, а также смеси, содержащие ГФУ, такие как R-407C, R-410A и R-404A. Лица, занимающиеся обработкой, извлечением для повторного использования, поставками, монтажом, производством или использованием оборудования, содержащего ГФУ должны следовать нормативам, принятым в этих странах.

Владельцы оборудования, содержащего ГФУ, обязаны предотвращать утечки, обеспечивать мониторинг и выполнять ремонт любых утечек в срочном порядке, а также организовывать надлежащее извлечение хладагентов для их повторного использования.

В связи с принятием ускоренного графика сокращения ГХФУ и проблемой воздействия на климат выбросов ГФУ в настоящее время осуществляется разработка новых озонобезопасных хладагентов с низким ПГП. Несколько таких хладагентов были формально зарегистрированы в ISO/ASHRAE.

Таблица 16. Ожидаемое потребление ГХФУ в холодильном секторе и секторе кондиционирования воздуха

Вещество	Общее потребление (метрические тонны)	Ожидаемое потребление в секторе охлаждения и кондиционирования воздуха	
		метрические тонны	% от общего
ГХФУ-22	247.200	217.610	97,2
ГХФУ-123	3.700	3.700	1,7
ГХФУ-142b	31.230	1.640	0,7
ГХФУ-124	940	940	0,4

Продолжаются интенсивные научные исследования и разработки в использовании естественных хладагентов, таких как аммиак (NH₃), диоксид углерода (CO₂) и углеводородов, которые обладают хорошими техническими параметрами, но приводят к некоторым проблемам в процессе использования из-за их огнеопасности.

Хладагенты общего использования

Сектор	Тип компрессора	Хладагент
Домашние холодильники и морозильники	Герметически закрытый	R-134a, R-401A, R-409A, R-413A, R-600a
Средне-температурное торговое оборудование	Герметически закрытый	R-134a, R-22, R-401A1, R-404A, R407A, R409A, R413A, R507, R290
	Доступный для ремонта, полугерметичный	R-134a, R-22, R-401A2, R-404A, R-407C, R-413A, R-507
	Поршневой сальниковый	R-134a, R-22, R-401A2, R-404A, R-407C, R-409AY, R-413A, R-507
Низкотемпературное торговое оборудование	Герметически закрытый	R-22, R-402A, R-402B, R-403A, R-404A, R-407B, R-408A, R-410A, R-507
	Доступный для ремонта, полугерметичный	R-22, R-402B, R-403A, R-404A, R-407B, R-408A, R-410A, R-507
	Поршневой сальниковый	R-22, R-402A, R-402B, R-403A, R-404A, R-407B, R-408A, R-410A, R-507

Сектор	Тип компрессора	Хладагент
Крупные торговые и промышленные системы	Поршневой сальниковый	R-22, R-134а, R-401А, R-401В, R-402А, R-403А, R-404А, R-407В4, R-407С4, R-408А, R-409А, R-410А, R-413А, R-507, R-717
	Центробежный/винтовой	R-134а, R-123, возможно R-1243, R-22, R-407А4, R-401А4, R-717
Автомобильное воздушное кондиционирование и охлаждение	Поршневой сальниковый	R-22, R-134а, R-401С, R-402А, R-403А, R-404А, R-407С, R-408А, R-409А, R-409В, R-416А, R-507, возможно R-22
Воздушное кондиционирование	Поршневой сальниковый	R-22, R-134а, R-401А, R-409А, R-410А, R-413А
	Центробежный/винтовой	R-134а, R-123, R-22, R-410А
	Доступный для ремонта, полугерметичный	R-22, R-123, R-134а, R-401В, R-404А, R-407С, R-409В, R-410А, R-507
Примечания:		
1) R-401А для температур испарителя в диапазоне от -23°C до 7°C ;		
2) R-401А и R-409А не применяются для охлаждения напитков;		
3) Обычно требуется серьезная модификации;		
4) Не для использования с затопленными испарителями.		

8.6 Хладагенты, смазочные масла и параметры систем охлаждения

Хладагенты нового поколения в некоторых случаях более зависимы от правильного применения и типа смазочного масла в компрессоре системы. Поэтому при выборе нового хладагента особое внимание должно быть уделено удовлетворению требований производителей компрессора и соблюдению процедуры конверсии.

Смеси ГХФУ, используемые в качестве переходных альтернатив ХФУ

Переходные смесевые хладагенты, иногда называемые сервисными смесями, были разработаны на первых стадиях реализации в рамках Монреальского протокола мер по прекращению потребления ХФУ, прежде всего ХФУ-12 и ХФУ-502. Многие смеси были основаны на ГХФУ-22 в качестве основного компонента, и поэтому они теперь подпадают под ускоренный график сокращения потребления ГХФУ, согласованный на XIX совещании Сторон Монреальского протокола.

R-401А Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12 в существующих системах с температурами испарения между -23°C и -7°C , совместим с большинством материалов в системах с ХФУ-12. Необходима замена фильтра-осушителя и/или другие незначительные изменения конструкции. Рекомендуется, чтобы 50% минерального масла в существующих системах были заменены алкилбензольными маслами (может использоваться полиолэфирное масло). Алкилбензольное масло не поглощает влагу, в связи с чем оно может быть использовано таким же образом, как и минеральное масло.

R-401B	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12 в существующих системах с температурами испарения между -40°C и -23°C . Рекомендуется, чтобы 50% минерального масла в существующих системах были заменены алкилбензолными маслами (может использоваться полиолэфирное масло). Алкилбензолное масло не поглощает влагу, в связи с чем оно может быть использовано таким же образом, как и минеральное масло. Необходима замена фильтра-осушителя и/или другие незначительные изменения конструкции.
R-401C	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12 в существующих автомобильных системах кондиционирования. Адсорбирующий элемент в ресивере/осушителе должен быть заменен, а гибкие шланги должны быть заменены нейлоновыми армированными шлангами. Нет необходимости удалять минеральное масло из системы, но необходимо добавить алкилбензолное масло для замещения потерянного минерального масла во время вакуумирования ХФУ-12 из системы и ресивера/осушителя.
R-402A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-502. R-402A совместим с большинством материалов в системах с ХФУ-502. Необходима замена фильтра-осушителя и возможны другие незначительные изменения конструкции. Изготовители рекомендуют, чтобы 50% минерального масла в существующих системах были заменены алкилбензолными маслами, т.к. последние не поглощают влагу.
R-402B	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-502 в существующих малых герметичных системах, таких как льдогенераторы. Никакие замены масла не требуются. Необходима замена адсорбционного элемента в фильтре-осушителе.
R-403A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-502. R-403A совместим с большинством материалов в системах с ХФУ-502 и будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми с ХФУ-502.
R-403B	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-502. R-403B совместим с большинством материалов в системах ХФУ-502 и будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми с хладагентом ХФУ-502.
R-405A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12. R-405A совместим с большинством материалов в системах ХФУ-12 и будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми с хладагентом ХФУ-12.
R-406A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены охладителя ХФУ-12. R-406A совместим с большинством материалов в системах ХФУ-12 и будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми с хладагентом ХФУ-12.
R-409A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12. R-409A совместим с большинством материалов в системах ХФУ-12 и будет работать с обычными минеральными или алкилбензолными маслами. Необходима модернизация или замена фильтра-осушителя и/или другие незначительные изменения конструкции.
R-409B	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12. R-409B совместим с большинством материалов в системах ХФУ-12. R-409B может также использоваться как замена для R-500, который широко применяется в транспортном охлаждении. R-409B будет работать с обычными минеральными и алкилбензолными маслами. Необходима модернизация фильтра-осушителя и/или другие незначительные изменения конструкции.
R-411A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ГХФУ-22. R-411A совместим с большинством материалов в системах ГХФУ-22 и будет работать с обычными минеральными или алкилбензолными маслами. Необходима модернизация фильтра-осушителя и, возможно, другие незначительные изменения конструкции.
R-411B	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-502. R-411B совместим с большинством материалов в системах ХФУ-502 и будет работать с обычными минеральными или алкилбензолными маслами. Необходима модернизация фильтра-осушителя и/или другие незначительные изменения конструкции.
R-412A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-500. R-412A совместим с большинством материалов в системах ХФУ-500 и будет работать с обычными минеральными или алкилбензолными маслами. Необходима модернизация фильтра-осушителя, а также могут потребоваться другие незначительные изменения конструкции.

R-414A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; подобен R-409A. Предназначен для ретрофита систем с ХФУ-12. Обладает большим температурным глайдом.
R-415A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан как альтернатива для ХФУ-12 в автомобильных кондиционерах воздуха.
R-415B	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан как альтернатива для ХФУ-12 в автомобильных кондиционерах воздуха.
R-416A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента ХФУ-12. R-416A совместим с большинством материалов в системах ХФУ-12 и будет работать с обычными минеральными, алкилбензольными, полиолэфирными и полиалкиленгликолевыми маслами. Необходима модернизация фильтра-осушителя и/или другие незначительные изменения конструкции.
R-418A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан как альтернатива для ГХФУ-22 в центральном воздушном кондиционировании.
R-420A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагентов R-12 и R-500 в воздушном кондиционировании и торговых холодильных системах.
R-509A	Смесевой хладагент на основе ГХФУ; разработан для замены хладагента R-502.

Однокомпонентные ГФУ хладагенты

Наиболее широко используемый однокомпонентный хладагент ГФУ-134а (R-134). Он имеет нулевой ОРП и ПГП, равный 1430.

ГФУ-134а	<p>ГФУ-134а широко доступен и может использоваться для охлаждения при температуре около 4 °С в небольших торговых холодильных системах с холодопроизводительностью от 2 до 4 кВт для глубокого замораживания и для воздушных кондиционеров в небольших помещениях.</p> <p>ГФУ-134а является хладагентом, пригодным для использования при высоких температурах окружающего воздуха и работает при давлениях, подобных ХФУ-12. Он совместим с большинством материалов в системах ХФУ-12.</p> <p>Потребление энергии подобно потреблению в оборудовании с ГХФУ-22, в то время как прямые выбросы парникового газа должны быть ниже из-за низкого ПГП, более низкого давления в системе и пониженного колебания давления в трубопроводах. Однако требуется замена фильтра-осушителя, пригодного для работы с ГФУ-134а, а также могут потребоваться другие незначительные изменения в системе.</p> <p>ГФУ-134а не будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми с ХФУ-12. В большинстве случаев в новых системах с ГФУ-134а использование полиолэфирного масла будет более предпочтительным.</p> <p>Полиолэфирные масла поглощают влагу в большей степени, чем минеральные масла, поэтому они не должны оставаться в контакте с атмосферой дольше, чем это необходимо.</p> <p>Единственное отклонение от вышеупомянутого – автомобильная промышленность, в которой для новых компрессоров и в случаях, когда требуется проведение ретрофита, рекомендуется применять полиалкиленгликолевые (ПАГ) масла. Масла ПАГ в десять раз более гигроскопичны, чем полиолэфирные масла, и обычно не совместимы ни с ХФУ-12, ни с минеральным маслом. Как правило, они не подходят для ретрофита.</p> <p>Имеется значительный практический опыт в применении ГФУ-134а в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.</p>
----------	--

Смесевые хладагенты на основе ГФУ

Смесевые хладагенты на основе ГФУ разработаны в качестве долгосрочных заменителей ХФУ-502 и ГХФУ-22. Они также являются заменителями для реже используемых R-13 и R-503. Двух- и трехкомпонентные смеси также применялись в течение некоторого времени. Они разделяются на две категории, а именно: азеотропы и неазеотропы.

Азеотропы обладают термодинамическими свойствами, подобным однокомпонентному веществу или чистым хладагентам – в частности, у них единственная температура испарения и конденсации.

Неазеотропы обладают свойством, называемым температурным «скольжением» или глайдом. Это означает, что температуры испарения и конденсации варьируют в зависимости от соотношения паровой и жидкостной фазы хладагента в испарителе, что происходит из-за различной скорости испарения химических компонентов смеси. Этот процесс иногда называется расслоением или фракционированием.

Температурный глайд является переменной величиной для различных смесей, и некоторые смеси, которые демонстрируют небольшой температурный глайд, называют около азеотропными. Наличие температурного глайда делает некоторые из этих смесей хладагентов неприемлемыми в качестве заменителей ГХФУ-22. Системы с прямым расширением лучше приспособлены для работы с хладагентами, имеющими температурный глайд.

R-404A	R-404A был первоначально разработан для замены R-502
R-507A	<p>R-404A и R-507A – смеси ГФУ, которые очень похожи, в связи с чем оцениваются совместно. Оба хладагента используются в течение многих лет в супермаркетах стран, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, и успешно применяются для охлаждения и глубокого замораживания, в частности в холодильных агрегатах и централизованных торговых системах.</p> <p>Хотя наличие этих хладагентов гарантируется в среднесрочной перспективе в связи с потребностью обслуживания уже установленного оборудования, в долгосрочной перспективе их наличие в значительной мере зависит от стратегии в отношении промышленных выбросов парниковых газов, так как оба вещества имеют высокий ПГП.</p> <p>Затраты на монтаж оборудования централизованных торговых систем, использующих R-404A или R-507A, аналогичны затратам при использовании оборудования с ГХФУ-22, но в то же время стоимость хладагента и масел выше.</p> <p>Потребление энергии для охлаждения немного выше, чем у оборудования на ГХФУ-22 и немного ниже при применении в глубоком замораживании.</p> <p>Высокий ПГП приводит к более высоким выбросам парниковых газов по сравнению с ГХФУ-22. В отличие от стандартного оборудования, используемого в случае очень высокой температуры воздуха, данное оборудование должно быть спроектировано для более высоких рабочих давлений.</p> <p>Колебания давления в системе со стороны высокого давления зависят от наружной температуры и могут вызывать вибрацию, что, в свою очередь, может приводить к усталости материала трубопроводов и последующему их разрыву. Такая ситуация может наблюдаться в течение относительно короткого времени – порядка нескольких дней – и может привести к выбросу всей заправки хладагента. В сравнении с системами на ГХФУ-22 такой риск увеличивается в случаях применения ГФУ-404A и ГФУ-507A, но еще более возрастает в случае применения ГФУ-410A. Во избежание этих рисков для оборудования, произведенного серийно, может использоваться эмпирический подход. Для оборудования, устанавливаемого на месте эксплуатации, важными факторами, уменьшающими риск таких разрывов, будут опыт, обучение и мастерство технического персонала.</p>

	<p>Эти хладагенты не будут работать с обычными минеральными маслами, и производители рекомендуют применять полиолэфирные масла. Эти хладагенты могут использоваться для замены ГХФУ-22 и ХФУ-502 также и в существующих системах. Так как эти хладагенты являются ГФУ, то необходимо удалить существующее минеральное масло с остаточным количеством не более чем 5 % путем промывки системы полиолэфирным маслом. Следует отметить, что полиолэфирное масло весьма гигроскопично и не может оставаться на открытом воздухе.</p> <p>Может потребоваться замена адсорбента осушителя или другие незначительные изменения в системе.</p>
R-407A	<p>Смесевой хладагент на основе компонентов ГФУ, разработанный в качестве замены ХФУ-12. Необходима модернизация осушителя и/или другие незначительные изменения в конструкции. Изготовитель рекомендует, чтобы с хладагентом R-407A использовались полиолэфирные масла.</p>
R-407B	<p>Смесевой хладагент на основе компонентов ГФУ, разработанный в качестве замены ХФУ-12 и ХФУ-502. Необходима модернизация осушителя и/или другие незначительные изменения в конструкции. Изготовитель рекомендует, чтобы с хладагентом R-407A использовались полиолэфирные масла.</p>
R-407C	<p>Смесевой хладагент на основе компонентов ГФУ, разработанный в качестве замены хладагента ГХФУ-22.</p> <p>ГФУ-407С – хладагент с существенным температурным глайдом, в связи с чем он не подходит для оборудования с большой заправкой хладагента или большим ресивером, такого как: холодильные агрегаты, централизованные системы и некоторые модели чиллеров. В других применениях температурный глайд должен быть учтен как при проектировании, так и при обслуживании.</p> <p>Этот хладагент широко используется в Европе в качестве замены ГХФУ-22 в оборудовании воздушного кондиционирования, в связи с чем, вероятно, будет доступен в средне- и долгосрочной перспективе.</p> <p>Затраты на производство оборудования с ГФУ-407С аналогичны затратам на изготовление оборудования на основе ГХФУ-22, за исключением более высоких затрат на хладагент и смазочные масла.</p> <p>В случае очень высокой температуры воздуха оборудование должно быть спроектировано для более высоких, чем стандартное, рабочих давлений. ПГП ГХФУ-22 и ГФУ-407С сопоставимы, поэтому выбросы парниковых газов, сопутствующие эксплуатации оборудования, будут также сопоставимы.</p> <p>Необходима модернизация осушителя и, возможно, другие незначительные изменения в конструкции системы. Изготовитель рекомендует, чтобы с хладагентом R-407A использовались полиолэфирные масла.</p>
R-410A	<p>R-410A является около азеотропным смесевым хладагентом, разработанным для замены ГХФУ-22. Хотя этот хладагент совместим с большинством материалов, используемых в системах ГХФУ-22, его рабочее давление приблизительно на 50 % выше, чем у ГХФУ-22, в связи с чем этот хладагент не следует рассматривать в качестве безопасной прямой замены ГХФУ-22.</p> <p>R-410A – коммерчески доступный смесевой хладагент, используемый в недавно разработанном оборудовании воздушного кондиционирования, которое в промышленных масштабах уже в течение многих лет поставляется основными производителями в диапазоне холодопроизводительности от 2 кВт до 175 кВт.</p> <p>Вероятно, что этот хладагент будет доступен в средне- и долгосрочной перспективе. Его высокая холодопроизводительность часто позволяет использовать более компактные компоненты. Типичный герметичный или полугерметичный компрессор, разработанный для ГХФУ-22, не может использоваться с ГФУ-410A и это также относится к некоторым другим компонентам системы.</p> <p>Информация о стоимости систем с ГФУ-410A указывает на более высокую стоимость компонентов, которая может также включать затраты на модернизацию, не связанную с выбором хладагента.</p> <p>Устройства, использующие ГФУ-410A, продемонстрировали более высокую энергоэффективность, чем подобные установки с ГХФУ-22. Необходимо отметить, что это повышение энергоэффективности может включать деятельность по оптимизации компонентов и модернизации технологии, осуществленных в рамках разработки новых систем.</p>

	<p>Если сравнивать ГФУ-410А с R-134а или R-290 (пропан), то следует отметить, что он не используется при высоких температурах воздуха из-за его высокого рабочего давления и относительно низкой критической точки, что может привести к снижению энергоэффективности при подобных температурах).</p> <p>R-410А не будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми в системах с ГХФУ-22. Изготовитель рекомендует использовать с хладагентом R-410А полиолэфирные масла.</p>
R-413А	<p>Смесевой хладагент на основе компонентов ГФУ, разработанный в качестве замены ХФУ-12. Необходима модернизация осушителя и/или другие незначительные изменения в конструкции. R-413А будет работать с обычными минеральными маслами, а также с полиолэфирными и полиалкиленгликолевыми маслами.</p>
R-417А R-422А R-422D	<p>ГФУ-417А, ГФУ-422А и ГФУ-422D являются относительно недавними разработками, основанными на смесях ГФУ с добавкой изобутана. Они разработаны в качестве хладагентов прямого замещения для существующего холодильного оборудования на ГХФУ-22 без замены смазочного холодильного масла.</p> <p>Эти хладагенты вряд ли станут широко использоваться в новом холодильном оборудовании из-за необходимости определенных компромиссов, связанных с их холодопроизводительностью и другими свойствами. Они имеют температурный глайд, в связи с чем не подходят для оборудования с большим объемом заправки хладагентов или ресиверами, такими как: холодильные агрегаты, централизованные системы и определенные модели чиллеров.</p> <p>R-422А может использоваться для охлаждения и глубокого замораживания, а R-417А и R-422D могут применяться для среднетемпературных торговых систем охлаждения и стационарного воздушного кондиционирования прямого расширения с использованием традиционных минеральных или алкилбензолных масел.</p> <p>Практический опыт эксплуатации систем с этими хладагентами пока весьма ограничен.</p> <p>Сервисные техники должны иметь опыт работы с хладагентами с температурным глайдом. В случае очень высокой температуры воздуха оборудование должно быть спроектировано для более высоких, чем стандартное, рабочих давлений. ПГП всех трех хладагентов выше, чем у ГХФУ-22.</p> <p>Необходимо отметить, что несмотря на широкую поддержку, хладагенты прямого замещения ХФУ-12 утвердились лишь в некоторых странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола. В этой связи ожидается, что ситуация с прямыми заменителями для ГХФУ-22 будет похожей.</p> <p>По-видимому, доступность этих хладагентов в среднесрочной перспективе для определенных рынков не известна. Из-за их переходного характера маловероятно, что эти вещества останутся доступными в более чем среднесрочной перспективе.</p>
R-423А	<p>R-423А разработан как модифицированный хладагент для центробежных чиллеров, работающих на ХФУ-12.</p>
R-424А	<p>R-424А разработан в качестве хладагента прямого замещения ГХФУ-22 в таких применениях, как: коммерческое кондиционирование воздуха, холодильные камеры, супермаркеты, молокоохладители, холодильный транспорт и винные холодильники.</p> <p>Для этого хладагента характерны значительно более низкие температуры и давления нагнетания, чем у ГХФУ-22, что снимает проблему разложения масла.</p> <p>R-424А совместим с минеральными и алкилбензолными маслами, используемыми в системах с ГХФУ-22, а также с полиолэфирными (ПОЭ) маслами. Поэтому в большинстве случаев нет никакой необходимости менять масло, хотя необходимо соблюдать рекомендации изготовителей компрессоров относительно смазывающих качеств выбираемого масла. При этом необходимо добавлять ПОЭ в системы со сложной конструкцией трубопроводов или с большим объемом жидкости в ресивере.</p>
R-425А	<p>Нет доступных данных.</p>

R-426A	R-426A разработан в качестве прямой замены ХФУ-12. Это невоспламеняющаяся смесь ГФУ-134а, ГФУ-125, бутана и изопентана, которая также одинаково совместима с традиционными и синтетическими смазками. Этот хладагент может использоваться в автомобильных кондиционерах воздуха, в системах с герметичными и полугерметичными компрессорами, в холодильных камерах, холодильном транспорте, молочных чиллерах, торговых автоматах и в другом оборудовании, использующем ХФУ-12.
R-427A	R-427A является смесевым неазеотропом на основе ГФУ, который был разработан для замены ГХФУ-22 в существующих системах прямого расширения или использования при конверсии производства новых систем. Этот хладагент может быть использован для ретрофита оборудования низкотемпературного охлаждения, а также для установок воздушного кондиционирования. R-427A совместим со смазками ПОЭ. Он допускает высокое остаточное количество первоначального масла в системе (хороший возврат масла до 10–15% остаточного алкилбензолного или минерального масла), что позволяет проводить ретрофит по упрощенной схеме. Использовался в ретрофите систем с ГХФУ-22 в Европе в течение нескольких лет из-за легкости конверсии существующих систем с ГХФУ-22.
R-428A	R-428A является невоспламеняющейся около азеотропной смесью ГФУ, совместимой с традиционными и синтетическими смазками. Разработан в качестве прямой замены ГХФУ-22, R-502 и переходных смесей, содержащих ГХФУ. Этот хладагент может использоваться в большинстве применений, где в настоящее время используются R-502 и переходные заменяющие смеси: в охлаждаемых витринах супермаркетов, льдогенераторах, холодильных хранилищах, транспортном, торговом и промышленном кондиционировании воздуха. Этот хладагент может также заменять ГХФУ-22 в системах, которые спроектированы для R-502.
R-429A	Около азеотропная смесь ГФУ, разработанная в качестве прямой замены R-12 в автомобильных кондиционерах воздуха, холодильниках/морозильниках и охлаждаемых витринах.
R-430A	Разработан в качестве прямой замены ГФУ-134а с низким ПГП.
R-431A	Около азеотропная смесь ГФУ (температурный глайд 0,06 °C). Разработан в качестве прямой замены ГХФУ-22 в бытовых и промышленных кондиционерах воздуха, холодильниках, торговых охлаждаемых витринах и чиллерах.
R-434A	R-434A является смесью ГФУ, разработанной для замены ГХФУ-22 в новом и существующем (ретрофит) оборудовании охлаждения и воздушного кондиционирования. Имеет температурный глайд в размере приблизительно 1,8 °C (одна треть от R-407C). Одинаково совместим с традиционными минеральными, алкилбензолными и полиолэфирными маслами.
R-435A	Группа Безопасности АЗ. Нет доступных данных.
R-437A	Этот хладагент разработан для ретрофита систем с ХФУ-12 в среднетемпературном диапазоне охлаждения и автомобильном кондиционировании воздуха, а также в качестве замены смесей на основе ГХФУ: R-401A, R-401B и R-409A. Совместим с традиционными и новыми маслами – в большинстве случаев никакого изменения типа масла во время ретрофита не требуется.
R-507A	Азеотропный смесевой хладагент на основе ГФУ, разработан для замены ХФУ-502 и совместим с большинством материалов, используемых в системах ХФУ-502. Необходима модернизация осушителя и/или другие незначительные изменения в конструкции системы. R-507 не будет работать с обычными минеральными маслами, используемыми в системах ХФУ-502. Изготовитель рекомендует использовать полиолэфирные масла.
R-508A	Азеотропная смесь для использования в низко-температурных применениях.
R-508B	Азеотропная смесь ГФУ-23 и ГФУ-116 обычно заменяет ХФУ-13 и R-503 в нижнем контуре каскадных систем.

8.7 Природные хладагенты

Аммиак (R-717)

Аммиак, NH_3 , R-717 уже более 100 лет используется во многих странах в качестве хладагента в крупных холодильных установках в пищевой и других отраслях промышленности. Аммиак ядовит, но его воздействие можно предотвратить, так как он легко обнаруживается по запаху в концентрациях, значительно ниже уровня токсичности. К аммиаку, как хладагенту, проявляется интерес в мировом масштабе, поскольку Монреальский и Киотский протоколы продолжают оказывать давление на страны в отношении сокращения выбросов озоноразрушающих веществ и парниковых газов.

ASHRAE полагает, что продолжение дальнейшего использования аммиака необходимо в пищевой промышленности, а также в системах кондиционирования воздуха. ASHRAE продвигает множество программ, позволяющих сохранять экономические выгоды от применения аммиака для искусственного охлаждения, и минимизировать при этом возможные риски.

Аммиак производится как целевым образом, так и в качестве побочного продукта в результате многих химических процессов на предприятиях химической промышленности. Аммиак – бесцветное химическое соединение, обладающее щелочной реакцией, и он хорошо известен как основа для производства бытовых моющих веществ. Аммиак также широко применяется в сельском хозяйстве, промышленности и торговле. Он выпускается в четырех общепризнанных категориях качества и в зависимости от уровня его чистоты подразделяется на марки, приемлемые для использования в сельском хозяйстве, промышленности, металлургии и холодильном секторе. Степень чистоты аммиака, используемого в качестве хладагента, составляет 99,98 %, и в нем практически отсутствуют вода и другие примеси.

Аммиак легко доступен, недорог, работает при давлениях, сопоставимых с другими хладагентами, а также способен при испарении поглощать большое количество тепла.

Аммиак является альтернативным хладагентом для новых и существующих систем охлаждения и воздушного кондиционирования. Аммиак кипит при низкой температуре (-33°C при атмосферном давлении) и обладает высокой скрытой теплотой испарения (в девять раз большей, чем у R-12).

Кроме того, наличие аммиака в атмосфере не вызывает глобального потепления. Этот хладагент обеспечивает низкое энергопотребление и минимальное воздействие на окружающую среду.

С экономической точки зрения в будущем аммиак должен найти более широкое применение именно в качестве хладагента. Его использование не требует введения дополнительных мер регулирования.

Использование аммиака в промышленности, относящейся к отоплению, вентиляции, воздушному кондиционированию и охлаждению, должно быть расширено, так как организациям, ответственным за составление нормативов в этих областях, известно, что это вещество относительно безопасно. Холодильные системы с аммиаком в качестве хладагента включают в себя: холодильные системы хранения продуктов питания, чиллеры, охлаждение в химической промышленности, кондиционирование воздуха, централизованные системы охлаждения, супермаркеты, продовольственные магазины.

Углеводороды пропан (R-290) и изобутан (R-600a)

Хладагенты R-290 (пропан), R-1270 (пропилен) и R-600a (изобутан) являются углеводородами и имеют сравнимые характеристики. Изобутан является подходящим хладагентом для малых автономных устройств охлаждения, R-290 и R-1270 могут использоваться для охлаждения и глубокого замораживания в автономных холодильных устройствах с холодопроизводительностью менее 1 кВт, а также в централизованных системах в супермаркетах с использованием расолов в качестве вторичного хладоносителя.

Хотя углеводороды являются хорошими хладагентами, проблема с расширением их применения связана с их огнеопасностью. Наличие этой проблемы требует дополнительных усилий при проектировании, производстве и обслуживании оборудования. Огнеопасность ограничивает сферы использования углеводородов малыми автономными устройствами, оборудованием с относительно малой заправкой хладагента, а также системами, использующими вторичные хладоносители.

В производстве автономного оборудования решение проблем безопасности требует достаточно ограниченных усилий и экономических затрат. В случае централизованного оборудования инвестиционные затраты оказываются существенно более высокими. Это вызвано введением вторичного контура охлаждения и применением оборудования для обеспечения безопасности, а также требованиями к высокому уровню квалификации технического персонала, который должен иметь опыт обращения с огнеопасными веществами. Энергопотребление автономных устройств является таким же или ниже, чем в системах, использующих ГХФУ-22, но в то же время в централизованных системах применение вторичного контура охлаждения приводит к увеличенному в сравнении с ГХФУ-22 энергопотреблению. Вероятно, что полное климатическое воздействие будет несколько ниже, чем в случае оборудования с ГХФУ-22, а в случае автономного оборудования, значительно ниже. Следует отметить, что R-290 также хорошо работает при высоких температурах воздуха.

Диоксид углерода (CO₂)

Диоксид углерода использовался в ограниченном числе централизованных торговых холодильных систем, в пищевой промышленности, в среднем масштабе в небольших установках в торговом секторе (торговые автоматы) и в тепловых насосах для снабжения горячей водой. Диоксид углерода используется как для охлаждения, так и для глубокого замораживания. В случае глубокого замораживания хладагент может использоваться в каскадной системе, что позволяет ограничить рабочие давления оборудования. Если оборудование с CO₂ оснащено конденсатором, охлаждаемым окружающим воздухом, то рабочие давления могут превысить 75 бар, что потребует установки дополнительных компонентов. При наружных температурах приблизительно выше 20°C в случае использования больших централизованных систем, и выше 32°C в случае применения малых систем, холодопроизводительность оборудования с CO₂ будет ниже, чем при тех же условиях оборудования с ГХФУ-22. Холодопроизводительность таких систем имеет тенденцию быстро уменьшаться при повышении температур наружного воздуха, что может приводить к значительно более высокому ежегодному потреблению энергии в странах с теплым климатом по сравнению с теми же условиями для оборудования с ГХФУ-22.

Предварительные оценки показывают, что полное климатическое воздействие холодильных систем с хладагентом CO₂, используемых в теплом климате, может быть выше, чем систем с ГХФУ при тех же условиях. В настоящее время продолжаются работы по оптимизации этой новой технологии и измерениям ее энергоэффективности, в связи с чем окончательная оценка климатического воздействия систем на основе CO₂, работающих в теплом климате, пока не может быть осуществлена. Рабочие параметры диоксида углерода значительно отличаются от рабочих параметров других

хладагентов. Системы с CO₂ требуют очень высоких рабочих давлений, которые приблизительно в шесть раз выше, чем в системах с ГХФУ-22. По этим причинам производство и обслуживание такого оборудования, методы и ноу-хау для того, чтобы оптимально использовать эту технологию, нуждаются в существенных изменениях. База снабжения компонентами производства систем кондиционирования на основе диоксида углерода в настоящее время отсутствует, в связи с чем затраты на оборудование с CO₂ (за исключением каскадных систем для централизованных торговых систем охлаждения) в настоящее время значительно выше, чем затраты на подобные системы с ГФУ или ГХФУ. Ожидается, что эта ситуация изменится, как только будет получено признание рынка, что приведет к увеличению числа стандартизированных компонентов. Затраты на каскадные системы могут быть сопоставимы с подобными системами, использующими ГХФУ-22.

Низкая холодопроизводительность систем с воздушным охлаждением в теплом климате, ограниченное применение централизованных каскадных систем в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, а также медленно развивающийся рынок компонентов указывают на то, что диоксид углерода в качестве замены ГХФУ-22 не является приоритетным направлением для достижения сокращений ГХФУ, намеченных в 2013 и 2015 гг., и в этой связи он не рассматривается в рамках раздела по определению затрат.

Предполагается, что по крайней мере на начальной стадии сокращения ГХФУ представленные выше альтернативы охватят все потенциально возможные варианты. В настоящее время продолжается разработка некоторых неогнеопасных хладагентов с низким ППП и с низкой токсичностью, но в на сегодняшний день остается неясным, когда они будут доступны и окажутся ли они в конечном счете коммерчески оправданными. CO₂ разрабатывался как альтернативный хладагент в течение последних 20 лет и теперь используется в демонстрационных испытаниях. Остается также неясным, при каких обстоятельствах этот хладагент будет использоваться в большем масштабе, так как системы с CO₂ основываются на конструктивных решениях, компонентной базе и требованиях к обслуживанию, которые существенно отличаются от систем, применяющих другие типы хладагентов.

Анализ вышеупомянутых факторов позволит производителям в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, выбрать экологически оправданные технологии. Ниже-приведенная таблица содержит ориентировочные рекомендации по приемлемости альтернативных хладагентов для использования в новом оборудовании в этих странах. Использование переходных хладагентов прямого замещения ГФУ-417А, ГФУ-422А и ГФУ-422D не рассматривалось, так как они предназначены для использования в существующем, а не новом оборудовании.

Углеводороды в настоящее время редко используются в торговом охлаждении в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола. Однако они широко применяются в бытовых холодильниках. В общей сложности 22 проекта в области производства домашних холодильников были выполнены в этих странах, сократив потребление ОРВ приблизительно на 12 % в этом секторе. В Китае более чем 85 % внутреннего производства домашних холодильников основано на R-600a.

Таблица 17. Применимость альтернативных хладагентов для широкого использования в новом оборудовании (ориентировочные рекомендации)

Торговое охлаждение	R-404A						
	ГФУ-134a	R-507A	R-407C	R-410A	R-290	Аммиак	CO ₂
Торговое автономное оборудование	+	+	0	0	+	-	0-
Торговые холодильные агрегаты	+	+	+0	0	-	-	-
Торговые централизованные системы	+	+	0	0		0-	-

Торговое охлаждение	R-404A						
	ГФУ-134a	R-507A	R-407C	R-410A	R-290	Аммиак	CO ₂
Торговое оборудование глубокого замораживания с одним контуром	-	+	-	0	-	-	-
Торговые системы глубокого замораживания дву-контурные/ супермаркеты	-	+	-	0	-	-	0
Комнатные кондиционеры	0	-	+	+	+	-	-
Бесканальные сплит-системы	0	-	+	+	0-	-	-
Канальные сплит-системы централизованного кондиционирования	0	-	+	+	0-	-	-
Корпусные воздух-воздух и торговые сплит-кондиционеры	-	-	+	+	-	-	-
Малые чиллеры (спиральные)	-	-	+	+	0-	-	-
Большие чиллеры (винтовые)	+	-	+ 0	+	-	+	-

Символы обозначают, что, согласно предварительной оценке, различные технологии:

- + Приемлемы с точки зрения технической перспективы или даже предпочтительны для широкого использования;
- 0 Не очень приемлемы с точки зрения технической перспективы, но могут использоваться, если не принимать во внимание определенные недостатки;
- Почти невозможно использовать, или можно использовать только с существенными экономическими и техническими ограничениями.

Источник: Пересмотренный анализ основных категорий затрат по сокращению потребления ГХФУ (решения 53/37 (I) и 54/40) UNEP/OzL.Pro/ExCom/55/47

8.8 Основные характеристики хладагентов

ХФУ (выведенные из потребления/регулируемые Монреальским протоколом)							
Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ППП (100 лет)	Группа безопасности	Статус
ХФУ	R-11	ХФУ-11/CCl ₃ F	45	1	4.750	A1	M
ХФУ	R-113	ХФУ-113/CCl ₂ FCClF ₂	85	1	6.130	A1	M
ХФУ	R-114	ХФУ-114/CClF ₂ CClF ₂	300	1	10.040	A1	M
ХФУ	R-115	ХФУ-115/CClF ₂ CF ₃	1.700	0,44	7.370	A1	M
ХФУ	R-12	ХФУ-12/CCl ₂ F ₂	100	1	10.890	A1	M
ХФУ	R-13	ХФУ-13/CClF ₃	640	1	14.420	A1	M
ХФУ	R-400	R-12/R-114 (50,0/50,0)		1	10.000	A1	M
ХФУ	R-500	R-12/R-152a (73,8/26,2)		0,738	8.100	A1	M

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ППП (100 лет)	Группа безопас- ности	Статус
ХФУ	R-502	R-22/R-115 (48,8/51,2)		0,25	4.700	A1	M
ХФУ	R-503	R-23/R-13 (40,1/59,9)		0,599	15.000		M

**Однокомпонентные хладагенты ГХФУ
(сокращаемые/регулируемые Монреальским протоколом)**

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ППП (100 лет)	Группа безопас- ности	Статус
ГХФУ	R-123	ГХФУ-123/CHCl ₂ CF ₃	1,3	0,02	77	B1	M
ГХФУ	R-124	ГХФУ-124/CHClFCF ₃	5,8	0,02	609	A1	M
ГХФУ	R-142b	ГХФУ-142b/CH ₃ CClF ₂	17,9	0,07	2.310	A2	M
ГХФУ	R-22	ГХФУ-22/CHClF ₂	12	0,05	1.810	A1	M

Однокомпонентные хладагенты ГФУ (регулируемые Киотским протоколом)

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ППП (100 лет)	Группа безопас- ности	Статус
ГФУ	R-125	ГФУ-125/CHF ₂ CF ₃	29	0	3.500	A1	K
ГФУ	R-134a	ГФУ-134a/CH ₂ FCF ₃	14	0	1.430	A1	K
ГФУ	R-143a	ГФУ-143a/CH ₃ CF ₃	52	0	4.470	A2	K
ГФУ	R-152a	ГФУ-152/CH ₃ CHF ₂	1,4	0	124	A2	K
ГФУ	R-161	ГФУ-161/CH ₃ CH ₂ F – флористый этил	0,21	0	12		K
ГФУ	R-227ea	ГФУ-227ea/CCF ₃ CHFCF ₃	42	0	3.220	A1	K
ГФУ	R-23	ГФУ-23/CHF ₃ фтороформ	270	0	14.760	A1	K
ГФУ	R-236ea	ГФУ-236ea/CHF ₂ CHFCF ₃	10,7	0	1.370		K
ГФУ	R-236fa	ГФУ-236fa/CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0	9.810	A1	K
ГФУ	R-245fa	ГФУ-245fa/CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7,6	0	1.030	B1	K
ГФУ	R-32	ГФУ-32/CH ₂ F ₂ фтористый метилен	4,9	0	675	A2	K
ГФУ	R-1234yf	ГФУ-1234yf/CF ₃ CF=CH ₂ *	-	0	4	A2L**	

*тетрафторпентан

**необходимо подтвердить

**Многокомпонентные смеси ГХФУ
(сокращаемые/регулируемые Монреальским протоколом)**

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ППП (100 лет)	Группа безопас- ности	Статус
Смесь ГХФУ	R-401A	R-22/152a/124 (53,0/13,0/34,0)		0,033	1.200	A1	M
Смесь ГХФУ	R-401B	R-22/152a/124 (61,0/11,0/28,0)		0,036	1.300	A1	M

<i>Тип</i>	<i>R-номер</i>	<i>Химическая формула/ общепринятое название</i>	<i>Время жизни в атмосфере</i>	<i>ОРП</i>	<i>ППП (100 лет)</i>	<i>Группа безопас- ности</i>	<i>Статус</i>
Смесь ГХФУ	R-401C	R-22/152a/124 (33,0/15,0/52,0)		0,027	930	A1	M
Смесь ГХФУ	R-402A	R-125/290/22 (60,0/2,0/38,0)		0,019	2.800	A1	M
Смесь ГХФУ	R-402B	R-125/290/22 (38,0/2,0/60,0)		0,03	2.400	A1	M
Смесь ГХФУ	R-403A	R-290/22/218 (5,0/75,0/20,0)		0,038	3.100	A1	M
Смесь ГХФУ	R-403B	R-290/22/218 (5,0/56,0/39,0)		0,028	4.500	A1	M
Смесь ГХФУ	R-405A	R-22/152a/142b/C318 (45,0/7,0/5,5/42,5)		0,026	5.300	d	M
Смесь ГХФУ	R-406A	R-22/600a/142b (55,0/4,0/41,0)		0,056	1.900	A2	M
Смесь ГХФУ	R-408A	R-125/143a/22 (7,0/46,0/47,0)		0,024	3.200	A1	M
Смесь ГХФУ	R-409A	R-22/124/142b (60,0/25,0/15,0)		0,046	1.600	A1	M
Смесь ГХФУ	R-409B	R-22/124/142b (65,0/25,0/10,0)		0,045	1.600	A1	M
Смесь ГХФУ	R-411A	R-1270/22/152a (1,5/85,5/11,0)		0,044	1.600	A2	M
Смесь ГХФУ	R-411B	R-1270/22/152a (3,0/94,0/3,0)		0,047	1.700	A2	M
Смесь ГХФУ	R-412A	R-22/218/142b (70,0/5,0/25,0)		0,053	2.300	A2	M
Смесь ГХФУ	R-414A	R-22/124/600a/142b (51,0/28,5/4,0/16,5)		0,043	1.500	A1	K
Смесь ГХФУ	R-414B	R-22/124/600a/142b (50,0/39,0/1,5/9,5)		0,039	1.400	A1	M
Смесь ГХФУ	R-415A	R-22/152a (82,0/18,0)		0,041	1.500	A2	M
Смесь ГХФУ	R-415B	R-22/152a (25,0/75,0)		0,013	550	A2	M
Смесь ГХФУ	R-416A	R-134a/124/600 (59,0/39,5/1,5)		0,008	1.100	A1	M
Смесь ГХФУ	R-418A	R-290/22/152a (1,5/96,0/2,5)		0,048	1.700	A2	M
Смесь ГХФУ	R-420A	R-134a/142b (88,0/12,0)		0,008	1.500	A1	M
Смесь ГХФУ	R-509A	R-22/218 (44,0/56,0)		0,022	5.700	A1	M

**Многокомпонентные смеси ГФУ
(выбросы компонентов, регулируемые Киотским протоколом)**

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере		ППП (100 лет)	Группа безопасности	Статус
			ОРП				
Смесь ГФУ	R-404A	R-125/143a/134a (44,0/52,0/4,0)	0		3.900	A1	K
Смесь ГФУ	R-407A	R-32/125/134a (22,0/40,0/40,0)	0		2.100	A1	K
Смесь ГФУ	R-407B	R-32/125/134a (10,0/70,0/20,0)	0		2.800	A1	K
Смесь ГФУ	R-407C	R-32/125/134a (23,0/25,0/52,0)	0		1.800	A1	K
Смесь ГФУ	R-407D	R-32/125/134a (15,0/15,0/70,0)	0		1.600	A1	K
Смесь ГФУ	R-407E	R-32/125/134a (25,0/15,0/60,0)	0		1.600	A1	K
Смесь ГФУ	R-410A	R-32/125 (50,0/50,0)	0		2.100	A1	K
Смесь ГФУ	R-413A	R-218/134a/600a (9,0/88,0/3,0)	0		2.100	A2	K
Смесь ГФУ	R-417A	R-125/134a/600 (46,6/50,0/3,4)	0		2.300	A1	K
Смесь ГФУ	R-419A	R-125/134a/E170 (77,0/19,0/4,0)	0		3.000	A2	K
Смесь ГФУ	R-421A	R-125/134a (58,0/42,0)	0		2.600	A1	K
Смесь ГФУ	R-421B	R-125/134a (85,0/15,0)	0		3.200	A1	K
Смесь ГФУ	R-422A	R-125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	0		3.100	A1	K
Смесь ГФУ	R-422B	R-125/134a/600a (55,0/42,0/3,0)	0		2.500	A1	K
Смесь ГФУ	R-422C	R-125/134a/600a (82,0/15,0/3,0)	0		3.100	A1	K
Смесь ГФУ	R-422D	R-125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)	0		2.700	A1	K
Смесь ГФУ	R-423A	R-134a/227ea (52,5/47,5)	0		2.300	A1	K
Смесь ГФУ	R-424A	R-125/134a/600a/600/601a (50,5/47,0/0,9)	0		2.400	A1	K
Смесь ГФУ	R-425A	R-32/134a/227ea (18,5/69,5/12,0)	0		1.500	A1	K
Смесь ГФУ	R-426A	R-125/134a/600/601a (5,1/93,0/1,3/0,6)	0		1.500	A1 r	K
Смесь ГФУ	R-427A	R-31/125/143a/134a (15,0/25,0/10,0/50,00)	0		2.100	A1 r	K
Смесь ГФУ	R-428A	R-32/143a/290/600a (77,5/20,0/0,6/1,9)	0		3.600	A1 r	K
Смесь ГФУ	R-429A	R-E170/152a/600a (60,0/10,0/30,0)	0				
Смесь ГФУ	R-430A	R-152a/600a (76,0/24,0)	0			A3	

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ПГП (100 лет)	Группа безопасности	Статус
HFC blend	R-431A	R-290/152a (71,0/29,0)		0		A3	
HFC blend	R-434A	R-125/143a/134a/600a (63,28/18,0/16,0/2,8)		0			
HFC blend	R-434A	R-125/143a/134a/600a (63,2/18,0/16,0/2,8)		0			
HFC blend	R-435A	R-E170/152a (80,0/20,0)		0			
HFC blend	R-437A	R-125/134a/600/601 (19,5/78,5/1,4/0,6)		0			
HFC blend	R-507A	R-125/143a (50,0/50,0)		0	4.000	A1	K
HFC blend	R-508A	R-23/116 (39,0/61,0)		0	13.000	A1	K
HFC blend	R-508B	R-23/116 (46,0/54,0)		0	13.000	A1	K

Углеводороды (с применением местных правил техники безопасности)

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ПГП (100 лет)	Группа безопасности	Статус
УВ	R-601a	CH ₂ =CH ₂ – этилен	0,004	0		A3	
УВ	R-432A	CH ₃ CH=CH ₂ – пропилен	0,001	0	20	A3	
УВ	R-433A	CH ₃ CH ₃ – этан	0,21	0	20	A3	
УВ	R-436A	CH ₃ CH ₂ CH ₃ - пропан	0,041	0	20	A3	
УВ	R-436B	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃ – бутан	0,018	0	20	A3	
УВ	R-510A	CH(CH ₃)CH ₃ - изобутан	0,019	0	20	A3	
УВ	R-601	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃ - пентан	0,01	0	20		

Углеводородные смеси (с применением местных правил техники безопасности)

Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ПГП (100 лет)	Группа безопасности	Статус
смесь УВ	R-1150	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃ - изопентан	0,01	0	20	A3	
смесь УВ	R-1270	R-1270/E170 (80,0/20,0)				A3	
смесь УВ	R-170	R-1270/290 (30,0/70,0)				A3	
смесь УВ	R-290	R-290/600a (56,0/44,0)				A3	
смесь УВ	R-600	R-290/600a (52,0/48,0)				A3	
смесь УВ	R-600a	R-E170/600a (88,0/12,0)				A3	

Природные хладагенты (с применение местных правил техники безопасности)							
Тип	R-номер	Химическая формула/ общепринятое название	Время жизни в атмосфере	ОРП	ПГП (100 лет)	Группа безопасности	Статус
природный	R-704	He – гелий		0		A1	
природный	R-717	NH ₃ – аммиак	0,01	0		B2	
природный	R-718	H ₂ O – вода		0			
природный	R-729	воздух-78% N ₂ , 21% O ₂ , 1% Ar,+		0	-	A1	
природный	R-744	CO ₂ – углекислый газ	>50	0	1	A1	
природный	R-764	SO ₂ – сернистый ангидрид		0	300	B1	

Справочная информация

Название справочного документа	Источник
ASHRAE; Стандарты; обозначение и классификация безопасности хладагентов – ANSI/ASHRAE 34-2007	Американское общество инженеров по теплотехнике, охлаждению и кондиционированию
Системы охлаждения и тепловые насосы – безопасность и экологические требования – Часть 4: Работа, обслуживание, ремонт и восстановление ISO TC 86/SC 1 N 176, Date: 2006-04-03, ISO/CD 5149-4, ISO TC 86/SC 1	Американский национальный институт стандартов
Хладагенты, отчет, 13-я Редакция – A 501-13	Битцер Интернейшнл
Хладагенты – Обозначение и классификация безопасности, ISO/TC 86/SC 8 N 134, ISO/CD 817:2007, дата: 2007-05-08	Международная организация по стандартизации (ИСО)
Промышленность воздушного кондиционирования и охлаждения. Руководство по выбору хладагента – 2003, Подготовлено: С.А. Lommers, Dip.Mech.Eng., F.AIRAH, M.ASHRAE, ISBN 0-949436-41-0	Австралийский институт холода, кондиционирования воздуха и теплотехники Inc., (АИХКТ)
Справочник по международным договорам по охране озонового слоя: Венская конвенция (1985), Монреальский протокол (1987), Шестое издание (2003)-ISBN:92-807-2316-2	ЮНЕП
Отчет группы экспертов по технологии и экономической оценке, май 2008, Том 1, Отчет о ходе работ	ЮНЕП/ГТОЭО
2006 Отчет по охлаждению, воздушному кондиционированию и тепловым насосам, Комитет по техническим вариантам, оценка по состоянию на 2006 год, ISBN 978-92-807-2822-4	ЮНЕП/ГТОЭО

