



With contribution of
the LIFE programme
of the European Union

Особенности проектирования систем на альтернативных хладагентах

Содержание

1- Минимизация возможности
возникновения утечек

2-R744 (диоксид углерода)

3-R717 (аммиак)

4-R32

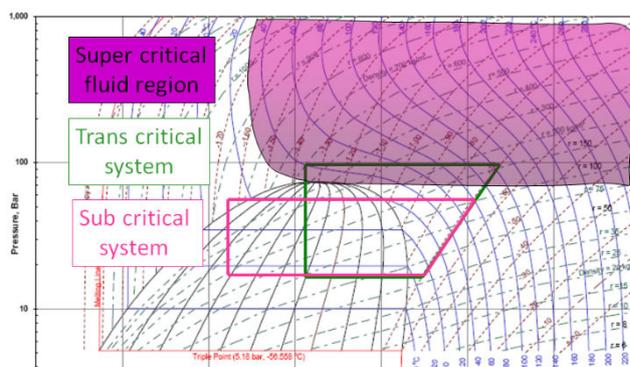
5-R1234ze

6-R600a (изобутан)

7- R290 и R1270 (пропан и пропен)

8-Приложение 1. Проектирование систем на воспламеняющихся хладагентах

9-Вопросы для самопроверки





With contribution of
the LIFE programme
of the European Union

Предлагаем вашему вниманию программу комплексного обучения «REAL Alternatives 4 LIFE»

Этот Модуль является частью программы комплексного обучения техников, работающих в секторе холодильного, кондиционерного оборудования и тепловых насосов, предназначенной для повышения квалификации и уровня знаний в области безопасности, эффективности, надежности и ограничений использования альтернативных хладагентов. Программа включает в себя интерактивное дистанционное обучение, печатные учебные пособия, инструменты, аттестацию организаторами обучения, а также электронную библиотеку дополнительных ресурсов, доступную по адресу: www.realalternatives4life.eu

Программа «REAL Alternatives 4 LIFE» была разработана Консорциумом ассоциаций и учебных центров Европы и совместно финансируется ЕС при поддержке заинтересованных представителей отрасли. Содержание учебной программы разрабатывали преподаватели, производители и конструкторы стран Европы. Материалы доступны на хорватском, чешском, голландском, английском, французском, немецком, итальянском, польском, румынском, испанском и турецком языках.

Модули Программы:

1. Альтернативные хладагенты. Введение. Безопасность, эффективность, надежность и надлежащие практики
2. Безопасность и управление рисками
3. Особенности проектирования систем на альтернативных хладагентах
4. Предотвращение и определение утечек альтернативных хладагентов
5. Техническое обслуживание и ремонт систем на альтернативных хладагентах
6. Ретрофит существующих систем на альтернативные хладагенты с низким ПГП
7. Законодательство и стандарты по альтернативным хладагентам
8. Влияние утечек хладагентов на экономику и окружающую среду
9. Обследование объектов и рекомендации по сокращению утечек хладагентов

Вы можете изучать каждый Модуль по отдельности или пройти весь курс и аттестацию.

www.realalternatives4life.eu

Co-funded by:



Дополнительную информацию можно найти в электронной библиотеке.

В каждом Модуле вы найдете ссылки на источники дополнительной информации. После изучения Модуля вы сможете снова воспользоваться ссылками на библиотеку www.realalternatives4life.eu/e-library. Вы также можете добавить дополнительные ресурсы в библиотеку, например, ссылки на веб-ресурсы, технические руководства или презентации, если сочтете их полезными. Модуль 7 содержит полный перечень соответствующих законов и стандартов, упоминаемых в Программе.

Вы сможете пройти аттестацию, если захотите получить сертификат непрерывного профессионального развития (CPD).

В конце каждого Модуля есть несколько простых вопросов для самопроверки, а также упражнений, которые помогут вам оценить свои знания. Сертификация и аттестация доступны для тех, кто проходит обучение в учебных центрах, аккредитованных «REAL Alternatives 4 LIFE». Перечень лицензированных учебных центров опубликован на сайте.

Зарегистрируйтесь на www.realalternatives4life.eu, чтобы иметь возможность получать актуальную информацию, новости и приглашения на мероприятия, связанные с обучением, повышением квалификации и развитием сектора холодильного оборудования.

Вы можете использовать и распространять этот материал

для индивидуального обучения. Авторские права на учебную брошюру и ее содержание принадлежат Институту Холода и партнерам. Материалы можно воспроизводить целиком или частями в учебных целях, отправив письменный запрос в Консорциум «REAL Alternatives», для передачи в Институт Холода (Великобритания), эл. почта: ior@ior.org.uk. Все вопросы о программе обучения или ее содержании также можно направлять по адресу: ior@ior.org.uk.

Краткая информация о Программе. Эта программа обучения совместно финансировалась ЕС. Она была разработана для повышения квалификации техников в секторе холодильного и кондиционерного оборудования и тепловых насосов относительно безопасного использования альтернативных хладагентов. Она содержит в себе объективную и актуальную информацию в удобном формате. Консорциум проекта включает в себя учебные учреждения и профессиональные организации, а также представительные органы работодателей. Заинтересованные работодатели, производители, торговые ассоциации и профессиональные организации также предоставили учебные материалы, рекомендации о содержании программы и рецензировали программу по мере ее разработки. Ниже перечислены партнеры Консорциума:

Партнеры Консорциума:

- Европейская ассоциация подрядчиков холодильного оборудования, кондиционирования воздуха и тепловых насосов (Бельгия)
- Ассоциация техников по холодильному оборудованию (Италия)
- IKKE training centre Duisburg (Германия)
- Институт Холода (Великобритания)
- Международный институт холода
- Левен-Лимбургский университетский колледж (Бельгия)
- Лондонский университет Южного берега (Великобритания)
- Программа «PROZON» (Польша).

Заинтересованные стороны:

- Национальная конфедерация компаний по установке и обслуживанию оборудования (CNI) (Испания)
- Ассоциация по технологиям охлаждения и кондиционирования воздуха (СНКТ) (Чехия)
- Ассоциация по холодильному, кондиционерному оборудованию и тепловым насосам (HURKT) (Хорватия)
- Ассоциация по холодильной технике (RGAR) (Румыния)
- Ассоциация предпринимателей холодильной промышленности (SOSIAD) (Турция)
- Ассоциация по технологиям охлаждения и кондиционирования воздуха (SZ СНКТ) (Словакия)

Модуль 3.

Особенности проектирования систем на альтернативных хладагентах

Этот Модуль содержит вводную информацию об особенностях проектирования систем и не заменяет практической подготовки и навыков. В Модуле вы найдете ссылки на ряд источников дополнительной полезной информации, которые прошли экспертную оценку и рекомендуются в качестве технического руководства для углубления знаний по указанным темам.

В этом пособии мы рассмотрим основные особенности проектирования новых систем на альтернативных хладагентах. Обязательным условием является соблюдение основных принципов эффективного проектирования. Различия определяются свойствами хладагентов, как показано в таблице 1. В таблице приведено сравнение определяющих свойств со свойствами R404A. Пустая ячейка таблицы означает отсутствие существенного отличия конкретного свойства от свойств R404A. Хладагент R404A был выбран для наглядности, хотя это низкотемпературный хладагент.

Таблица 1. Свойства хладагентов, влияющие на проектное решение системы

Хладагент	Давление	Воспламеняемость	Токсичность	Холодопроизводительность	Критическая температура фазового перехода	Температура нагнетания	Материалы
R744	Очень высокое		Низкая	Очень высокая	Низкая	Высокая	
R717		Низкая	Высокая			Высокая	Без меди или медного сплава
R32	Высокое	Низкая		Высокая			
R1234ze	Низкое	Низкая		Низкая			
R600a	Очень низкое	Высокая		Очень низкая			
R290 R1270		Высокая					

Отличия систем в зависимости от используемого хладагента представлены в следующем разделе. Отличия, связанные с использованием R744, более значительные, чем для других хладагентов, поэтому конструкция систем на R744 рассматривается более подробно. Наиболее существенные отличия систем на R717 связаны с необходимостью соблюдения норм техники безопасности при работе с углеводородами (УВ).

Аспекты безопасности, связанные с воспламеняемостью, актуальны для всех альтернативных хладагентов, за исключением R744, поэтому эта информация включена в Приложение 1, во избежание повторений.

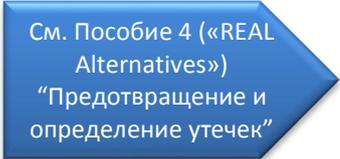
Стандартное максимально допустимое давление (PS^1) приведено для всех хладагентов. Все значения (кроме значений для R744) основаны на максимальной температуре окружающей среды 32°C и максимальной температуре конденсации 55°C .

¹ Значение PS определяется в соответствии со стандартом EN378-1: 2016 «Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора». Дополнительная информация содержится в Модуле 5

Минимизация возможностей возникновения утечек

Независимо от типа используемого хладагента важно минимизировать возможность утечек. Для этого необходимо:

- ✓ не усложнять конструкцию;
- ✓ минимизировать количество соединений;
- ✓ минимизировать количество компонентов;
- ✓ плотно пригнать компоненты системы;
- ✓ минимизировать рабочее давление и давление во время отключения системы;
- ✓ минимизировать количество точек доступа к системе и расположить их в наиболее целесообразных местах;
- ✓ избегать использования клапанов Шредера, но если пропускной клапан необходим, использовать шаровой кран с конусным фитингом (и обеспечить его глушение после использования);
- ✓ по возможности избегать использования компрессоров открытого типа. Если их использование необходимо - убедиться в наличии качественного уплотнения по валу;
- ✓ обеспечить правильную вальцовку труб и предотвращение вибрации;
- ✓ предоставить информацию:
 - о местоположении точек доступа на изометрическом чертеже места установки оборудования;
 - о значениях крутящего момента;
- ✓ проектировать систему удобной для обслуживания и обнаружения утечек, а также выполнения других важных действий, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом.



См. Пособие 4 («REAL Alternatives»)
“Предотвращение и определение утечек”

1. R744 (диоксид углерода)

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»), рис. 2

Свойства R744 влияют на применение хладагента:

	Тип	Ключевые факторы	ПГП ²	Температура фазового перехода ³	Секторы применения
R744	Диоксид углерода, CO ₂	Высокое давление	1	-78°C	Торговое холодильное оборудование, тепловые насосы, агрегатированные холодильные установки

- Все компоненты должны быть рассчитаны на работу под высоким давлением из-за высоких максимального рабочего давления и давления R744;
- R744 имеет более низкий практический предел, чем большинство ГФУ, из-за его низкой токсичности. (Более подробная информация о стационарной системе обнаружения утечек содержится в Модуле 4);
- Практический предел концентрации хладагента при нахождении человека в помещении (ППНЧ) - предельная концентрация хладагента в помещении, не требующая срочных мер эвакуации в случае непреднамеренной разгерметизации холодильного контура и попадания всего количества хладагента в атмосферу помещения. Полная информация представлена в стандарте EN378 Часть 1 – таблица E.1;
- R744 - асфиксикант, поэтому необходимо установить стационарную систему определения утечек, на случай, если утечка хладагента в закрытом помещении, например, в холодильной камере или производственном помещении, достигнет концентрации, которая потребует срочной эвакуации. В машинных отделениях рекомендуется установка сигнализатора, срабатывающего при уровне 50% ПДК/ПНК, в соответствии с требованиями стандарта EN378. Это уровень, выше которого наступают неблагоприятные последствия в результате однократного или многократного воздействия в течение короткого промежутка времени (обычно менее 24 часов). Для R744 ПДК/ПНК составляет 0,072 кг/м³, поэтому сигнализация должна быть установлена на уровне 0,036 кг/м³ (приблизительно 20 000 ppm). Как правило, также предусматривается установка подачи предварительного сигнала в случае утечки при 5 000 ppm из-за быстрого увеличения концентрации вследствие высокого давления R744;
- Высокая удельная холодопроизводительность R744 обуславливает меньший размер (габариты) компрессора и диаметров труб, по сравнению с другими хладагентами. Например, габариты компрессора составляют приблизительно 1/5 от требуемого размера для систем на R404A;

См. Пособие 3 («REAL Alternatives»)

² Значения ПГП в соответствии с Регламентом (ЕС) №517:2014 «F-газы»

³ Температура фазового перехода - это температура поверхности твердого R744 при атмосферном давлении



Примеры систем на R744

- Низкая критическая температура R744 обуславливает общие конструкционные отличия этих систем. R744 используется в приведенных ниже типах холодильных систем:
 - **Транскритические системы.** Эти системы постоянно или иногда работают при температуре выше критической на стороне высокого давления. R744 выделяет тепло в окружающий воздух и находится в сверхкритическом состоянии при температуре окружающей среды выше 21-25°C. Транскритические системы малой производительности, например, холодильные камеры для напитков, размещенные внутри здания, обычно всегда работают при температуре выше критической.
 - **Каскадные системы.** Эти системы всегда работают при температуре ниже критической. В таких системах R744 работает в нижней ступени, а тепло, выделяемое в процессе конденсации R744, абсорбируется испаряющимся хладагентом верхней ступени. Система верхней ступени это, как правило, обычная система на ГФУ, УВ или R717. В некоторых системах R744 используется как в верхней, так и в нижней ступени. В этом случае R744 в нижней ступени всегда ниже критической температуры, а в верхней ступени может быть в сверхкритическом состоянии при высокой температуре окружающей среды.
 - **Системы с вторичным контуром.** R744 используется в качестве вторичного хладоносителя и циркулирует через теплообменники. Из-за летучести R744 может возникнуть частичное испарение, но из испарителя будет выходить сконденсированный хладагент (т.е. он не будет перегреваться, как в вышеприведенных системах). Для охлаждения R744 используются чиллеры.
- Цикл двухступенчатого сжатия используется в транскритических низкотемпературных системах из-за возможной высокой температуры сжатия.
- Техническое переохлаждение, достигаемое благодаря конфигурации системы, обеспечивающей создание пониженного давления на входе жидкой фазы в теплообменник, применяется во многих системах, когда температура жидкой фазы ниже температуры окружающей среды. В естественных условиях такое переохлаждение жидкости не происходит.

Многие системы на R744 могут включать в себя два или более типа перечисленных выше систем. Например, каскадная система может включать в себя принудительную циркуляцию хладоносителя во вторичном контуре и/или для охлаждения может использоваться транскритическая система на R744.

2.1 Работа систем при транскритическом режиме

Критическая температура

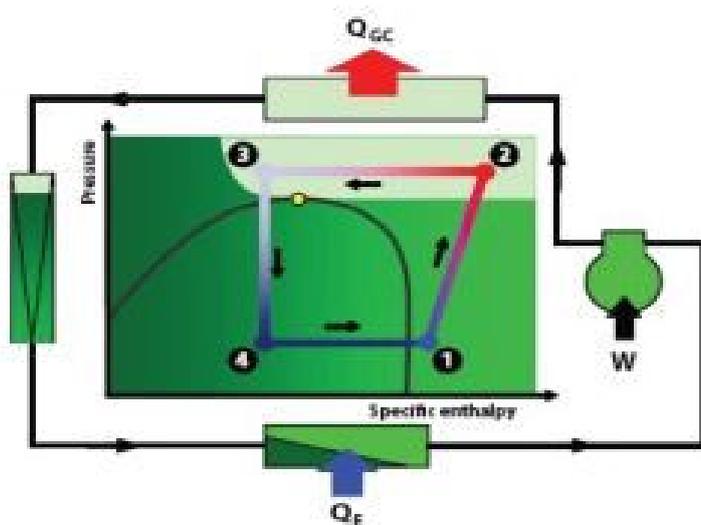
Основное отличие R744 от других хладагентов - работа многих систем выше критической температуры (31°C). Объяснение критической точки представлено в видео (по ссылке). Большинство систем на R744, которые выбрасывают тепло в окружающую среду, частично или всегда работают при транскритическом режиме. В этих системах конденсатор выступает в роли «газоохладителя», поскольку хладагент в сверхкритическом состоянии не конденсируется. R744 переходит в жидкое состояние только при снижении давления когда:

- системы на R744 работают при субкритической температуре, когда температура конденсации ниже 31°C .
- системы на R744 работают выше критической температуры, когда «температура охлаждения газа» выше 31°C .

Системы на ГФУ, УВ и R717 всегда работают при температуре ниже критической, поскольку температура конденсации никогда не превышает критической температуры (например, 101°C в случае R134a).

Видео («Danfoss»)
«Фазовый переход
 CO_2 »

Пособие («NaReCO2»)
«Природный
хладагент CO_2 »



источник: www.danfoss.com

Простая транскритическая система

На Рисунке 4 показана простая транскритическая система.

В такой системе давление в газовом охладителе зависит от количества хладагента в системе, поэтому производительность и эффективность могут варьироваться в широком диапазоне.

Более подробная информация о транскритических системах малой производительности представлена в материале «Danfoss», указанном в ссылке.

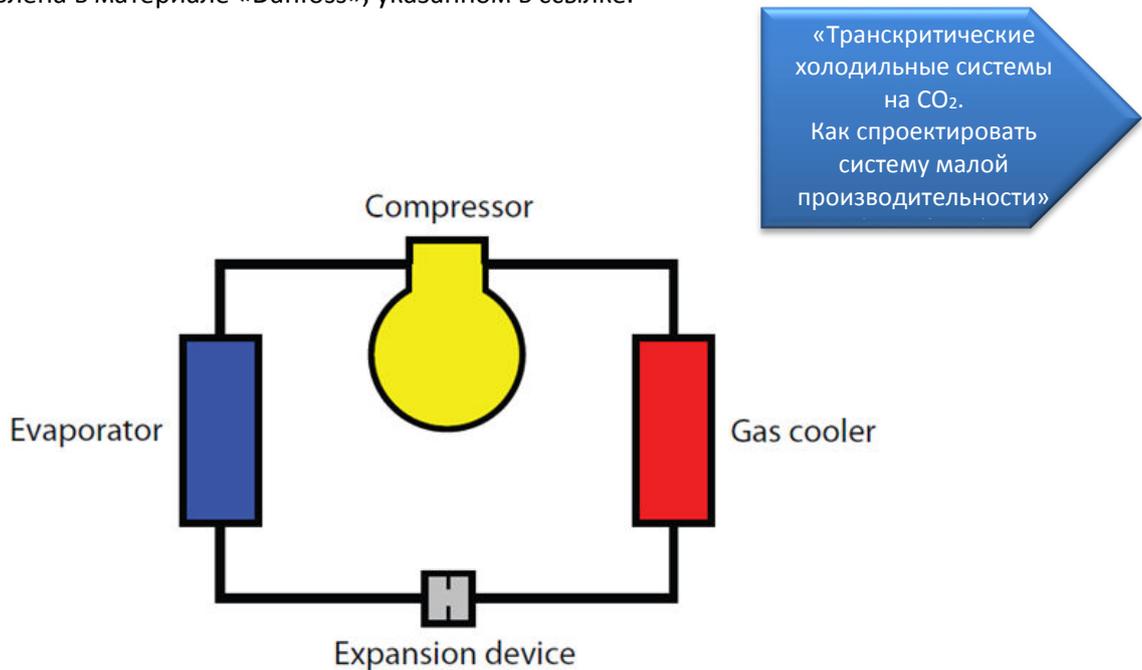


Рисунок 4. Простая транскритическая система

Диаграмма «давление-энтальпия» для простой системы

На приведенной ниже диаграмме «давление-энтальпия» показаны примеры холодильных циклов простой холодильной системы на R744, работающей ниже критической температуры при низкой температуре окружающей среды (розовый цикл), и выше критической температуры при более высокой температуре окружающей среды (зеленый цикл). Из диаграммы видно, что удельная холодопроизводительность испарителя значительно меньше при работе выше критической температуры.

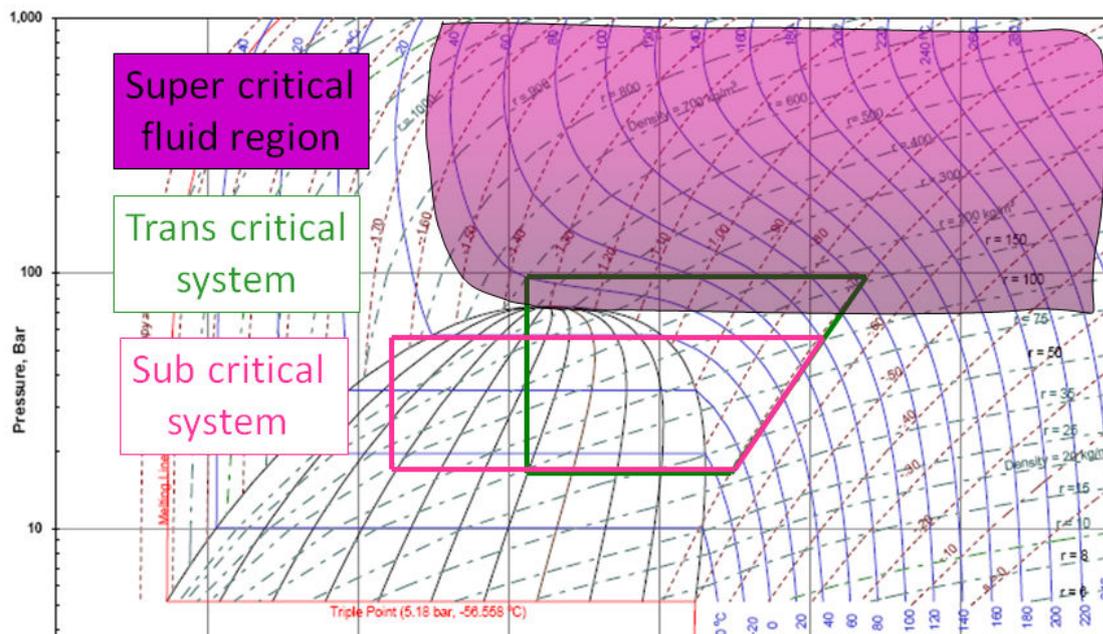


Диаграмма «давление-энтальпия». Работа ниже и выше критической температуры

При работе системы выше критической точки хладагент не конденсируется в газоохладителе, его температура падает и выделяется тепло. Хладагент не конденсируется до тех пор, пока его давление не упадет ниже критического давления (72,8 бар).

При работе системы выше критической температуры давление газоохладителя зависит от количества хладагента в нем (если отсутствует система регуляции давления). Транскритическая температура жидкости уменьшается, когда она проходит через газоохладитель, при этом температура жидкости на выходе из газоохладителя зависит от размеров газоохладителя и температуры окружающей среды.

При работе системы выше критической точки увеличение давления на стороне высокого давления увеличивает удельную холодопроизводительность, как видно из диаграммы «давление-энтальпия» на рисунке 3. Лучшим рабочим давлением является режим 3, поскольку нет значительного увеличения расхода энергии, по сравнению с режимом 1.

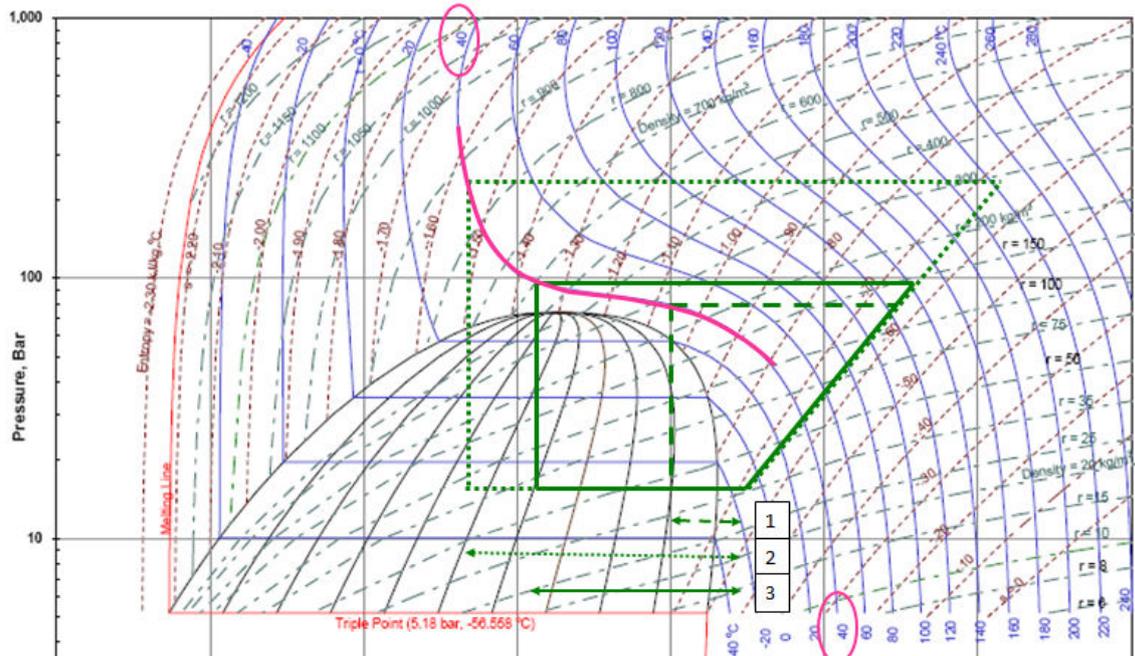
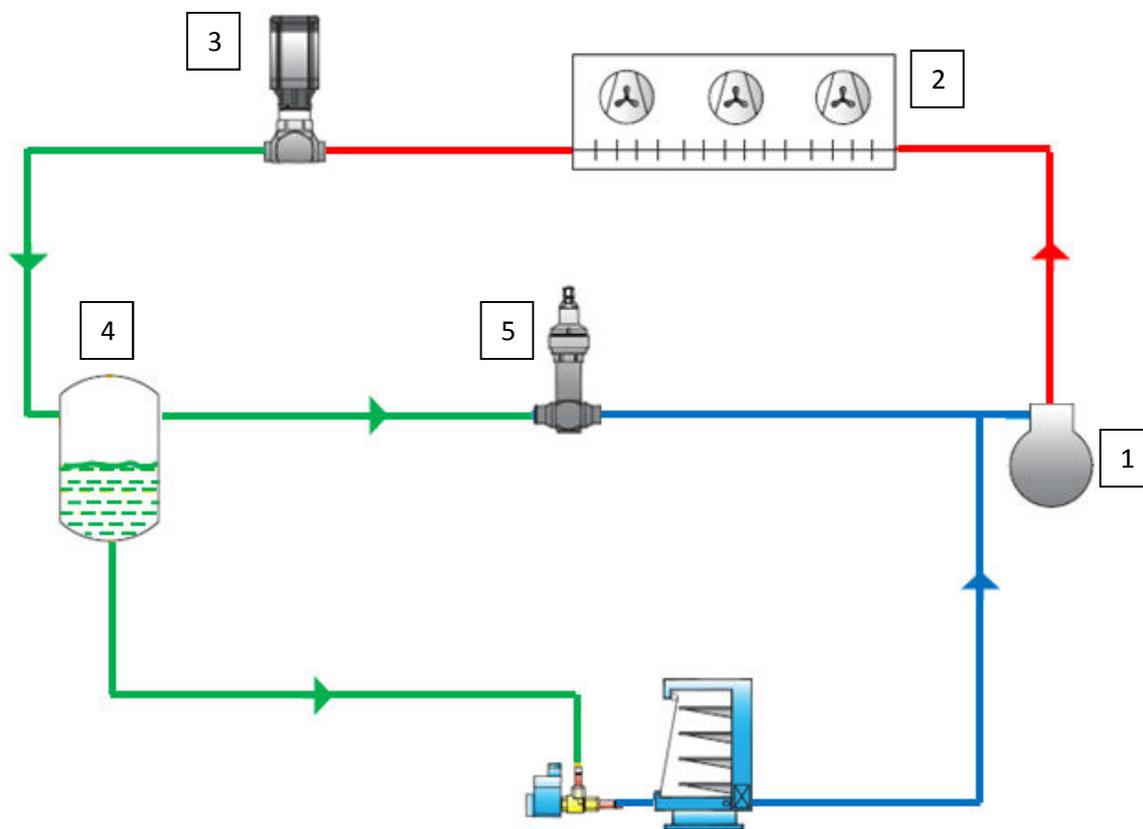


Диаграмма «давление-энтальпия», демонстрирующая работу холодильной машины в трех, отличающихся по давлению режимах давления газоохладителя

Транскритическая система большой производительности

В типичной транскритической системе большой производительности давление регулируется. На приведенной ниже диаграмме показан упрощенный контур такой системы.



Типичная транскритическая система

1. Компрессор представляет собой транскритический компрессор, предназначенный для работы под высоким давлением и хладагентов, обладающих высокой удельной холодопроизводительностью;
2. Конструкция газового охладителя напоминает конструкцию обычного конденсатора, при этом диаметр труб может быть меньше, и они должны выдерживать более высокое давление;
3. Редуцирующий клапан на выходе из газоохладителя поддерживает давление в газоохладителе и держит давление на оптимальном уровне (обычно 90 бар для транскритической системы, когда температура окружающей среды выше 21°C - 25°C);
4. Ресивер жидкого хладагента и соединенный с ним трубопровод (выделен зеленым цветом) находятся под средним давлением;
5. Газовый перепускной клапан, регулирующий давление ресивера, запитан на ресивер и поддерживает среднее давление на уровне, определенном разработчиком (обычно в диапазоне от 35 до 65 бар).

«Холодильное оборудование на CO₂ для торговли продовольственными товарами» («Danfoss»)

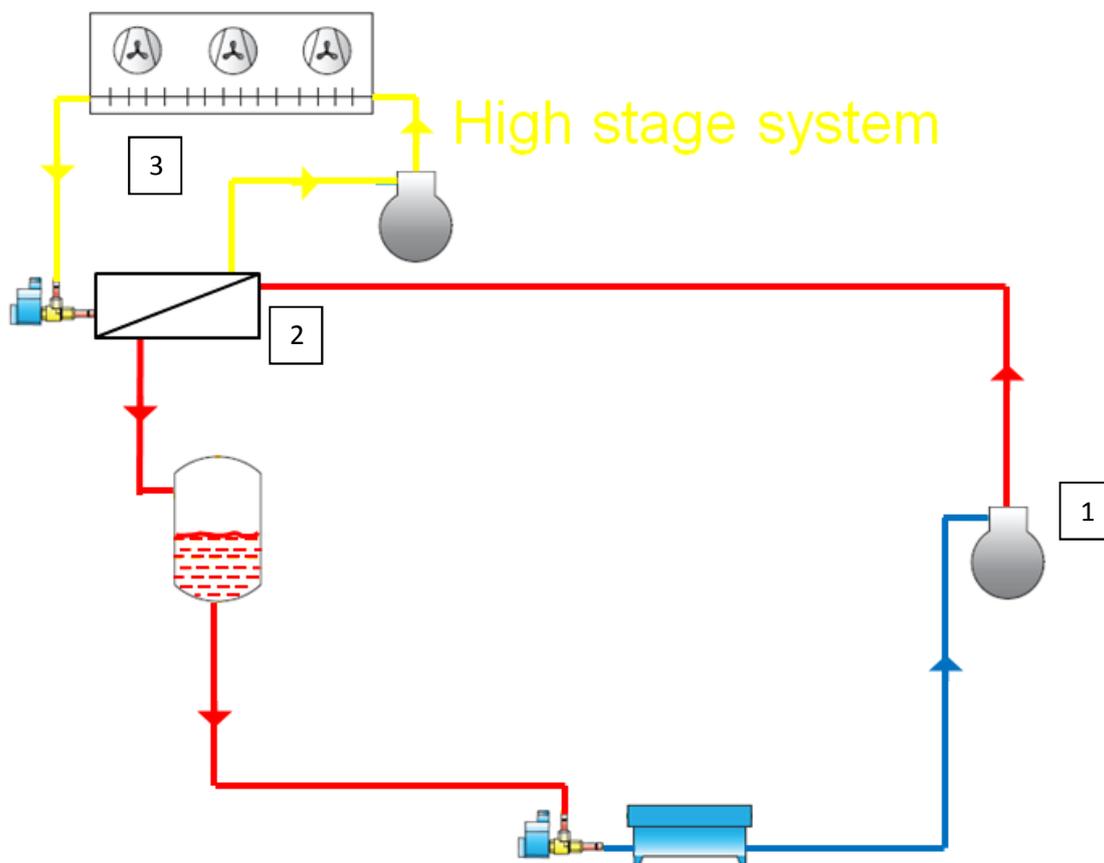
Пособие («Emerson») «Системы на R744. Введение»

Пособие («Emerson») «Проектирование систем на R744»

Более подробная информация о транскритических системах содержится в материалах «Danfoss» и «Emerson», указанных в ссылках.

2.2 Каскадные системы, работающие ниже критической температуры

R744 также используется в каскадных системах (как показано на схеме ниже).



Простая каскадная система

1. Компрессор для систем на R744, как правило, аналогичен компрессору для систем на R410A (обычно работает при таком же давлении);
2. R744 конденсируется в каскадном теплообменнике, передавая тепло испаряющемуся хладагенту верхней ступени;
3. Верхняя ступень системы обычно представляет собой простую чиллерную систему, работающую на ГФУ, УВ или R717. R744 также может использоваться в верхней ступени, в этом случае в течение некоторого времени он будет в сверхкритическом состоянии. Работа верхней ступени обычно регулируется по давлению в ресивере жидкого R744.

«Каскадная система на CO₂» («Danfoss»)

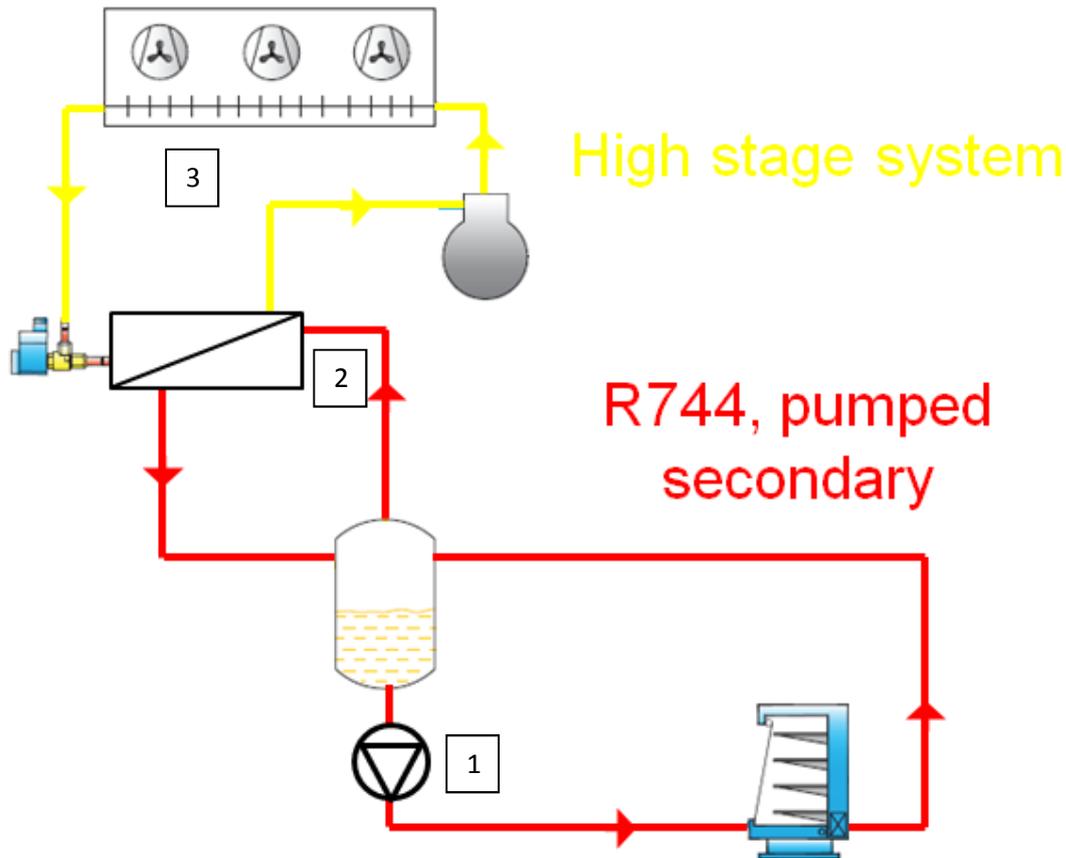
Пособие («Emerson») «Системы на R744. Введение»

Пособие («Emerson») «Проектирование систем на R744»

Дополнительная информация о каскадных системах содержится в материалах, указанных в ссылках.

2.3 Системы с вторичным контуром

R744 также может использоваться как вторичный хладагент (как показано на схеме ниже).



Простая циркуляционная система с вторичным контуром

1. Для перекачки жидкого R744 обычно применяется насос центробежного типа, который охлаждается жидким хладагентом. Важно обеспечить постоянную подачу жидкости в насос для предотвращения кавитации и, как следствие, повышения надежности и производительности;
2. R744 конденсируется в теплообменнике, передавая тепло испаряющемуся хладагенту верхней ступени;
3. Верхняя ступень обычно представляет собой простую чиллерную систему на ГФУ, УВ или R717. Работа такой системы обычно регулируется по давлению в ресивере жидкого R744.

Преимущества R744 по сравнению с другими вторичными хладагентами:

- будучи летучим, он частично испаряется в теплообменнике (испарителе), абсорбируя при этом скрытую теплоту. Это уменьшает перепад температур на теплообменнике;
- высокая плотность R744 снижает требуемую мощность насоса.

Однако давление при работе на R744 будет значительно выше, чем у других вторичных хладагентов. Например, при температуре -3°C давление составляет около 30 бар.

2.4 Давление

Стандартное давление в системах на R744 приведено в таблице 2 ниже.

Таблица 2. Стандартное давление R744

	Стандартное давление, бар (МПа)	Стандартное максимально- допустимое давление (PS) ⁴ , бар (МПа)
Сторона высокого давления транскритической системы, которая работает выше критической точки	90 (9)	120 (12)
Среднее давление в транскритической системе	35 - 65 (3,5 – 6,5)	45 - 75 (4,5 – 7,5)
Давление на стороне высокого давления низкой ступени каскадной системы	30 (3)	40 (4)
Низкотемпературный испаритель	15 (1,5)	30 (3,0)
Высокотемпературный испаритель	30 (3)	52 (5,2)
Установка в режиме останова при температуре окружающей 20°C	55 (5,5)	

Высокое давление R744 может привести к увеличению утечек с последующим увеличением потребления энергии и косвенного воздействия на окружающую среду. Для минимизации возможности утечек система соединительных трубопроводов и компоненты должны быть рассчитаны на максимально-допустимое давление (PS) соответствующей части системы. Во многих случаях это потребует использования компонентов, которые отличаются от компонентов систем на ГФУ, а также более толстостенных или стальных труб.

Соединения следует паять или сваривать, и, по возможности, следует избегать механических соединений.

Используемые клапаны Шредера должны быть рассчитаны на диапазон давления и температур, диоксид углерода и компрессорное масло.

В каскадных теплообменниках может возникнуть большой перепад температур между входом и выходом. Это может вызвать термоудар, следствием которого может стать утечка хладагента, и это необходимо учитывать при выборе компонентов. Перепад температур можно снизить за счет снижения перегрева газа перед конденсатором.

Потери хладагента также возникают из-за проблем, связанных с предохранительными клапанами.

Должна существовать достаточная разница между максимально-допустимым давлением (PS) (и, следовательно, давлением срабатывания предохранительного клапана), и номинальным рабочим давлением в соответствующей части системы, что минимизирует сброс R744 через предохранительный клапан. Во многих системах даже небольшое увеличение рабочего давления приводит к сбросу хладагента через предохранительный клапан. Усугубляет ситуацию тот факт,

⁴Значение PS определяется в соответствии со стандартом EN378-1: 2016 «Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора». Дополнительная информация содержится в Модуле 5

что давление R744 может расти очень быстро и достичь уровня давления срабатывания предохранительного клапана, прежде чем сработает реле высокого давления и произойдет отключение системы (как и в других системах, настройка реле высокого давления не должна превышать 90% максимально допустимого давления (PS)).

При наличии нескольких сработок пружина предохранительного клапана ослабляется, давление срабатывания уменьшается, увеличивая частоту выпуска. В дополнение к этой проблеме, утечки происходят, если предохранительный клапан не возвращается в исходное положение даже после одного выпуска.

2.5 Удельная холодопроизводительность

Как уже упоминалось в Модуле 1, удельная холодопроизводительность R744 в несколько раз превышает удельную холодопроизводительность более широко используемых хладагентов. Это влияет на:

- дизайн компрессора - необходима меньшая производительность и, соответственно, меньший размер двигателя компрессора, поэтому для R744 используются специальные компрессоры;
- размер труб – используются трубы меньшего диаметра;
- теплообменники – можно использовать испарители и конденсаторы меньшего размера для достижения такого же перепада температур. Если размеры конденсатора и испарителя не будут уменьшены, перепад температур снизится, а производительность и эффективность системы повысятся.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives») «Введение»

Пособие «Emerson») «Проектирование систем на R744»

Не путайте удельную холодопроизводительность с эффективностью.

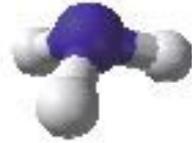
Удельная холодопроизводительность - это количество тепла, которое абсорбируется единицей массы хладагента в испарителе. Удельная холодопроизводительность R744, по сравнению с другими хладагентами высокая, а эффективность - аналогичная.



Оба компрессора обеспечивают одинаковую удельную холодопроизводительность и потребляют примерно одинаковое количество энергии.

2. R717 (аммиак)

NH₃
1 Nitrogen molecule
3 Hydrogen molecules



Проектные решения систем на R717 главным образом обусловлены его токсичностью, низкой воспламеняемостью, высокой температурой нагнетания, несовместимостью с некоторыми материалами и нерастворимостью в масле:

	Тип	Ключевые факторы	ПГП ⁵	Температура фазового перехода ⁶	Секторы применения
R717	Аммиак, NH ₃	Токсичность и низкая воспламеняемость	0	-33°C	Промышленное холодильное оборудование

- объем заправки ограничен из-за токсичности (для получения дополнительной информации см. Пособие 1). R717 принадлежит к Группе опасности B2L);
- некоторые электрические компоненты должны быть предназначены для использования во взрывоопасной среде. В Приложении 1 более подробно описывается процесс проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах. Это также применимо к низковоспламеняющимся хладагентам, например R717;
- стандартное максимально-допустимое давление в системе (PS) на стороне высокого давления составляет 22 бар, для стороны низкого давления - 11,4 бар, таким образом, давление не чрезмерно высокое;
- двухступенчатая компрессия используется в низкотемпературных установках для заморозки и хранения замороженных продуктов, чтобы избежать чрезмерных температур нагнетания;
- R717 взаимодействует с медью, поэтому для аммиачных систем обычно используются стальные трубы и фитинги, а также полугерметичные компрессоры, специально предназначенные для R717;
- R717 не растворяется в компрессорном масле, поэтому масло, которое попадает на сторону низкого давления холодильной системы, остается под слоем R717. Необходимо установить маслосборник, желательно комплексную систему для сбора и возвращения масла в масляный резервуар.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives») «Введение»

Приложения «Danfoss» и «Bitzer» «Линейка хладагентов»

Правила техники безопасности для холодильного оборудования на R717 (Институт Холода)

⁵ Значения ПГП в соответствии с Регламентом (ЕС) №517:2014 «F-газы»

⁶ Температура фазового перехода при атмосферном давлении (1 бар)



examples of packaged ammonia systems

Примеры автономных систем на аммиаке

- R717 - токсичен и имеет очень низкий практический предел концентрации хладагента при нахождении человека в помещении (ППНЧ = 0,00035 кг/м³). Необходимо устанавливать стационарную систему обнаружения утечек, если в результате утечки может быть превышен ППНЧ. Нижний порог сигнализации должен быть установлен на уровне 500 ppm, и активировать механическую вентиляцию и звуковую сигнализацию. Верхний порог необходимо установить на уровне 30 000 ppm, который остановит работу установки и отключит электропитание.

Системы с малым объемом заправки R717 разрабатываются для использования в торговом холодильном оборудовании, которое традиционно работало на ГФУ.

См. видео
«Использование
аммиака» в
электронной
библиотеке «REAL
Alternatives»

3. R32

R32 очень похож на R410A, но классифицируется как низковоспламеняющийся (A2L) (для получения дополнительной информации см. классификацию в Пособии 1).

	Температура кипения °С	Группа опасности	Нижний концентрационный предел воспламенения кг/м ³	ППНЧ кг/м ³	Температура самовоспламенения °С	ПГП
R32	-51	A2L	0,307	0,061	648	675

Большинство системных компонентов такие же, как и используемые для R410A. Отличие обусловлено низкой воспламеняемостью:

- объем заправки ограничен (для получения дополнительной информации см. Модуль 1). R32 принадлежит к Группе опасности A2L;
- некоторые электрические компоненты должны быть предназначены для использования во взрывоопасной среде. В Приложении 1 более подробно описываются особенности проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах. Это также применимо к низковоспламеняющимся хладагентам, например R32.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»)

Рабочее давление R32, а также давление в режиме остановки практически идентичны значениям R410A, поэтому все используемые компоненты должны быть рассчитаны на такое давление; компоненты, предназначенные для использования в системах на других ГФУ, могут оказаться непригодными. Стандартное максимально-допустимое давление в системе (PS) на стороне нагнетания составляет 34,2 бар, а на стороне низкого давления - 19,3 бар.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»), рис. 2

Приложения «Danfoss» и «Bitzer» «Линейка»

Удельная холодопроизводительность R32 аналогична R410A, поэтому допустимо использовать компоненты, предназначенные для R410A.

	Тип	Ключевые факторы	ПГП ⁷	Температура фазового перехода ⁸	Секторы применения
R32	Гидрофторуглерод, ГФУ	Низкая воспламеняемость	675	-52°C	Сплит-системы кондиционирования воздуха



Пример оборудования на R32

⁷ Значения ПГП в соответствии с Регламентом (ЕС) №517:2014 «F-газы»

⁸ Температура фазового перехода при атмосферном давлении (1 бар)

4. R1234ze

Проектные решения для систем на R1234ze обусловлены его низкой воспламеняемостью, низким давлением и производительностью:

- объем заправки ограничен (для получения дополнительной информации см. Модуль 1). R1234ze принадлежит к Группе опасности A2L;
- некоторые электрические компоненты предназначены для использования во взрывоопасной среде. В Приложении 1 более подробно описывается процесс проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах. Это также применимо к воспламеняющимся хладагентам, например R1234ze;
- стандартное максимально-допустимое давление в системе (PS) на стороне нагнетания составляет 10,3 бар, для стороны низкого давления - 5,1 бар, поэтому можно использовать компоненты и трубы для более низкого, чем у ГФУ давления;
- удельная холодопроизводительность R1234ze примерно на 75% выше, чем у R134a, а коэффициент преобразования (COP) аналогичен. Таким образом, для обеспечения аналогичной R134a производительности, двигатель компрессора может быть того же размера, а габариты компрессора на 30% больше. В настоящее время доступно мало компрессоров для R1234ze.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»)

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»), рис. 1

Приложения «Danfoss» и «Bitzer» «Линейка»

Пример ЮНЕП, включая испытания «Waitrose»

	Тип	Ключевые факторы	ПГП ⁹	Температура фазового перехода ¹⁰	Секторы применения
R1234ze	Ненасыщенный ГФУ (гидрофторолефин, ГФО)	Низкая воспламеняемость	7	-19°C	Чиллеры, сплит-системы кондиционирования воздуха, агрегатированные холодильные установки



⁹ Значения ПГП в соответствии с Регламентом (ЕС) №517:2014 «F-газы»

¹⁰ Температура фазового перехода при атмосферном давлении (1 бар)

Примеры оборудования на R1234ze

5. R600a (изобутан)

Проектные решения для систем на R600a обусловлены его высокой воспламеняемостью и очень низкими давлением и производительностью:

- объем заправки ограничен (для получения дополнительной информации см. Пособие 1). R600a принадлежит к Группе опасности А3;
- некоторые электрические компоненты предназначены для использования во взрывоопасной среде. В Приложении 1 более подробно описывается процесс проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах. Это также применимо к воспламеняющимся хладагентам, например 600a;
- стандартное максимально-допустимое давление в системе (PS) на стороне нагнетания составляет 6,8 бар, для стороны низкого давления - 3,3 бар, поэтому допустимо использовать компоненты и трубы, предназначенные для значительно более низкого давления, чем у ГФУ;
- удельная холодопроизводительность R600a составляет примерно 50% удельной холодопроизводительности R134a, а коэффициент преобразования (COP) аналогичен. Таким образом, для обеспечения одинаковой производительности, двигатель компрессора должен быть того же размера, а габариты компрессора больше. Компрессоры для R600a широкодоступны для бытового и торгового холодильного оборудования малой производительности, однако недоступны для оборудования большой производительности.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»)

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»), рис. 1

Приложения «Danfoss» и «Bitzer» «Линейка хладагентов»

	Тип	Ключевые факторы	ПГП ¹¹	Температура фазового перехода ¹²	Секторы применения
R600a	Изобутан, C ₄ H ₁₀ , углеводород (УВ)	Воспламеняющийся	3	-12°C	Бытовое и торговое холодильное оборудование малой производительности

¹¹ Значения ПГП в соответствии с Регламентом (ЕС) №517:2014 «F-газы»

¹² Температура фазового перехода при атмосферном давлении (1 бар)

6. R290 and R1270 (пропан и пропен)

R290 и R1270 имеют аналогичное R404A соотношение температуры и давления, а также удельную холодопроизводительность. Основное конструкционное отличие обусловлено более высокой воспламеняемостью этих двух хладагентов:

- объем заправки ограничен (для получения дополнительной информации см. Пособие 1). R290 и R1270 принадлежат к Группе опасности А3;
- некоторые электрические компоненты предназначены для использования во взрывоопасной среде. В Приложении 1 более подробно описывается процесс проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах. Это также применимо к воспламеняющимся хладагентам, например R290 и R1270.

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»)

См. Пособие 1 («REAL Alternatives»), рис 1

Стандартное максимально-допустимое давление в системе (PS):

- на стороне высокого давления: 18,1 бар для R290 и 21,8 для R1270
- на стороне низкого давления: 10,4 бар для R290 и 12,7 бар для R1270

Приложения
«Danfoss» и «Bitzer»
«Линейка хладагентов»

Обычно для систем на R290 и R1270 используются компоненты для систем на R404A (за исключением электрических устройств - см. следующий раздел).

	Тип	Ключевые факторы	ПГП ¹³	Температура фазового перехода ¹⁴	Секторы применения
R290	Пропан, C ₃ H ₈ , углеводород (УВ)	Воспламеняющийся	3	-42°C	Чиллеры, агрегатированные холодильные установки
R1270	Пропилен, C ₃ H ₆ , углеводород (УВ)	Воспламеняющийся	3	-48°C	Чиллеры, агрегатированные холодильные установки



Примеры монтажа систем на углеводородах в супермаркетах в Великобритании

¹³ Значения ПГП в соответствии с Регламентом (ЕС) №517:2014 «F-газы»

¹⁴ Температура фазового перехода при атмосферном давлении (1 бар)

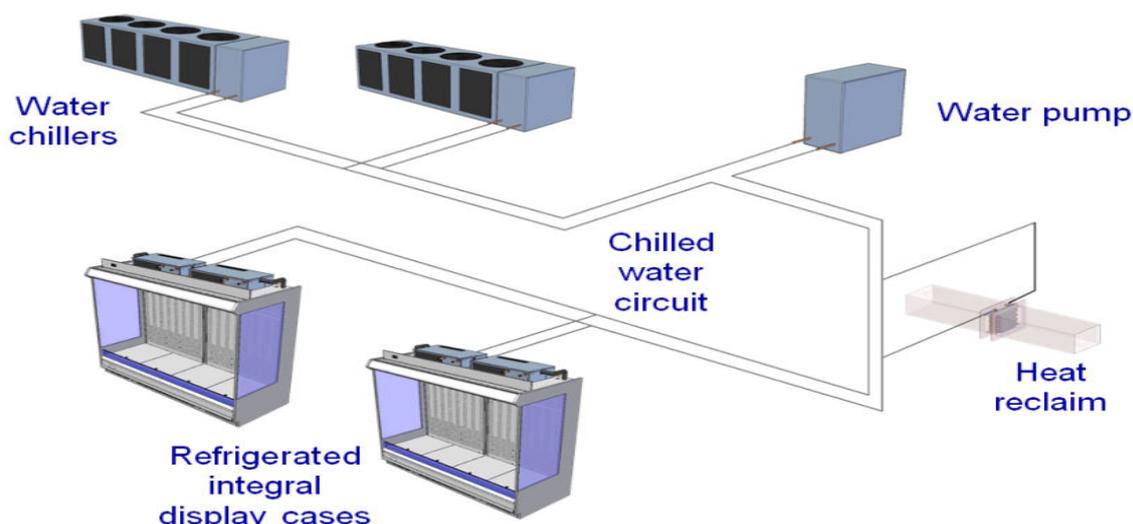
Пример: простая система малой производительности для супермаркетов, спроектированная на углеводородах в Великобритании

В Великобритании вместо систем централизованного холодоснабжения большой производительности в более чем 100 супермаркетах используются простые холодильные системы малой производительности на углеводородах. Системы с водяным контуром обычно включают в себя агрегатированные витрины с конденсаторами водяного охлаждения и моноблочные холодильные камеры, также оснащенные конденсаторами с водяным охлаждением. Расположенные снаружи гликолевые чиллеры охлаждают гликоль, необходимый для витрин и моноблоков для отвода тепла от конденсаторов с водяным охлаждением (см. рисунок ниже).

Также используются бытовые кондиционеры с воздушным охлаждением. Эти системы спроектированы для работы на R1270. У них, за исключением сплит-систем кондиционирования воздуха, малый объем заправки хладагента, они проходят испытания и заправляются в заводских условиях.

Интенсивность утечек обычно составляет 1% от общего объема заправки хладагента в год (по сравнению с почти 100% в системах централизованного холодоснабжения). Поэтому увеличение потребления энергии из-за утечек не происходит.

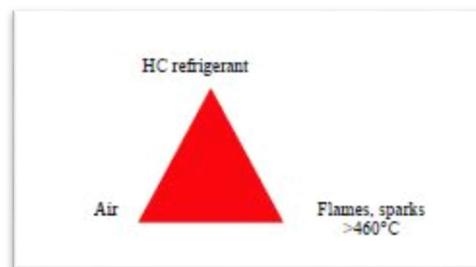
Такой тип простой системы более устойчив - например, он менее подвержен изменениям заданных параметров при обслуживании, что в значительной степени влияет на энергопотребление. Применение УВ-хладагентов способствует использованию систем малой производительности с ограниченным объемом заправки хладагента, что приводит к значительному сокращению утечек.



Простая схема витрин и чиллера с водяным охлаждением

Приложение 1. Процесс проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах

В случае утечки хладагента существует вероятность образования взрывоопасной среды вокруг системы. Возгорание произойдет, если во взрывоопасной зоне есть источник возгорания. Необходимо соблюдать требования, предусмотренные Директивой АТЕХ¹⁵:



- определить масштабы взрывоопасной зоны в случае утечки;
- относительно электрических устройств, которые могут образовать взрывоопасную зону в случае утечки хладагента.

В этом Приложении содержится более подробная информация о процессе проектирования систем на воспламеняющихся хладагентах. Источники воспламенения в потенциально взрывоопасной зоне представляют опасность в случае утечки хладагента. Важным этапом процесса проектирования является обеспечение отсутствия источников воспламенения в пределах потенциально взрывоопасных зон. Это может быть достигнуто путем обеспечения непопадания утечек во взрывоопасную зону или путем перемещения источников воспламенения из взрывоопасной зоны.

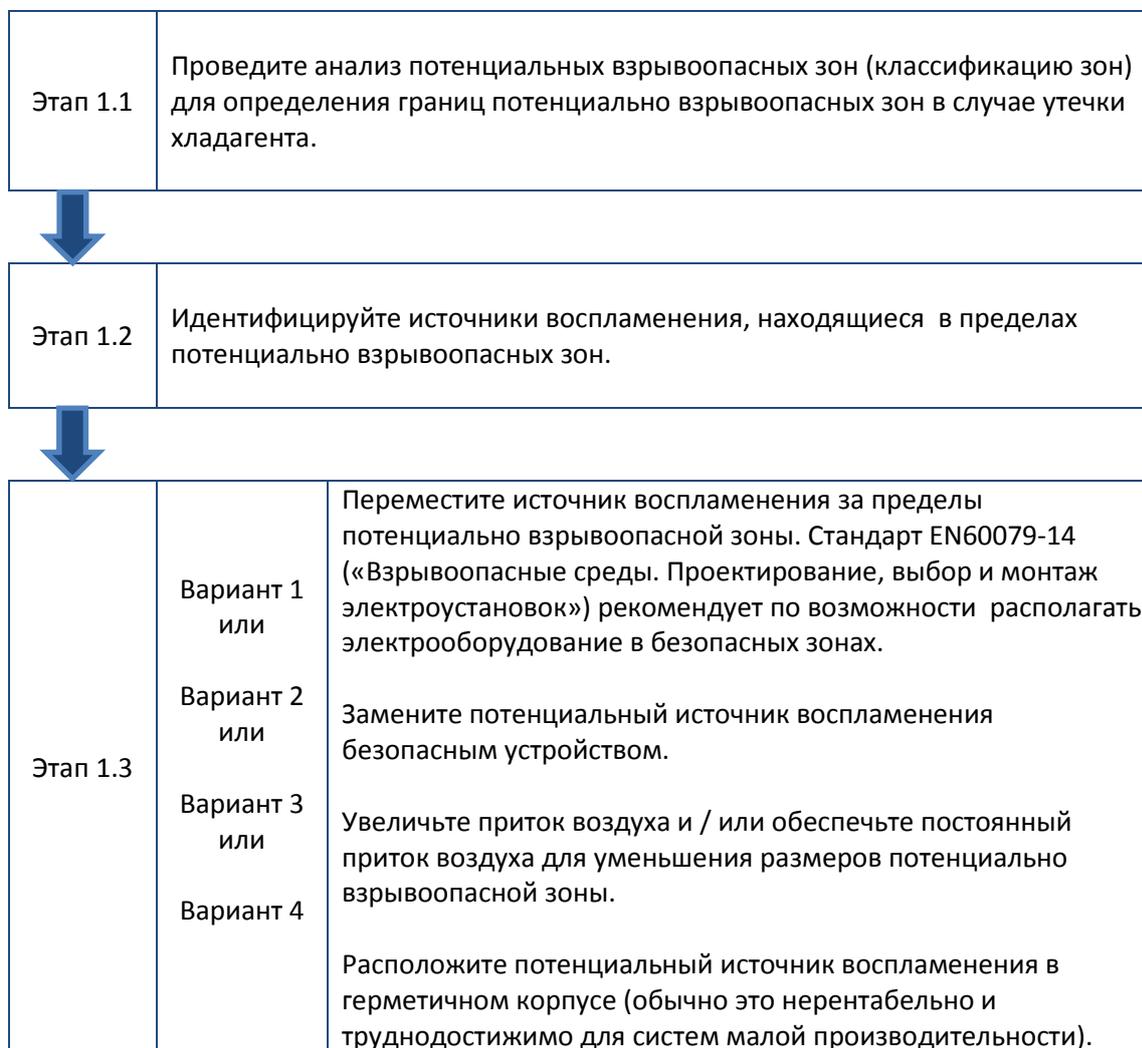
Более подробная информация содержится в стандартах:

- EN60079-10-1 «Взрывоопасные среды. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды»
- EN60335-2-89 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Часть 2-89. Частные требования к торговому холодильному оборудованию со встроенным или дистанционным узлом конденсации хладагента или компрессором для предприятий общественного питания»
- EN 389-2 Приложение I «Имитация утечки воспламеняющихся хладагентов».

¹⁵ Директива АТЕХ 95 (94/9/ЕС) – «Оборудование, используемое в взрывоопасных средах»

Проектирование

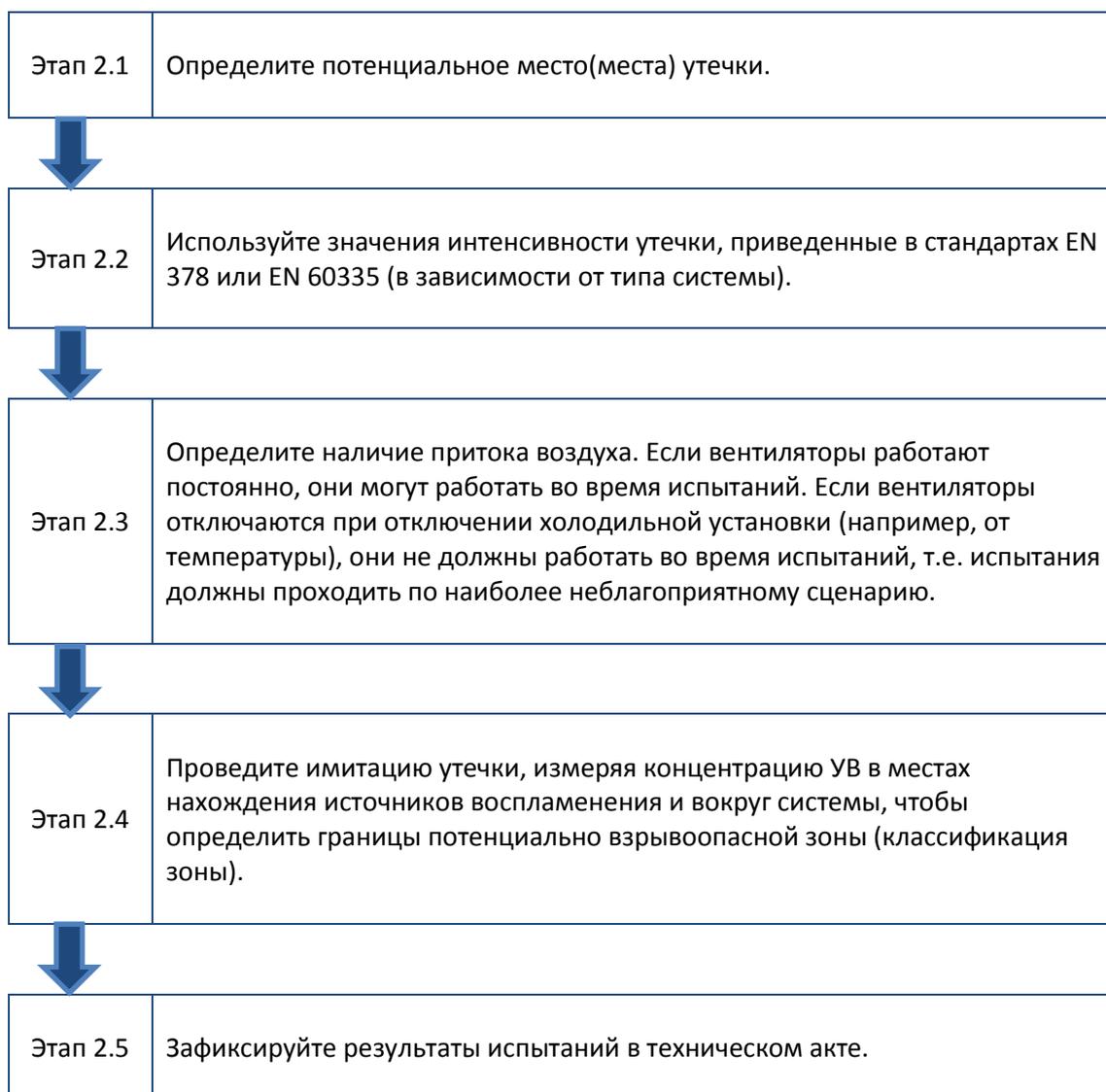
Ниже представлен алгоритм процесса проектирования, обеспечивающий безопасность любой систем на воспламеняющихся хладагентах, содержащих потенциальные источники воспламенения (с любым объемом заправки хладагента).



Имитация утечки

Имитация утечки проводится для определения границ потенциально взрывоопасной зоны в случае утечки хладагента. Это испытание должно проводиться только компетентным персоналом.

Испытания должны проводиться в соответствии со стандартом EN60079-10-1 «Взрывоопасные среды. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды». Ниже приведена общая процедура испытаний, для получения полной информации необходимо изучить Стандарт. В стандарты EN 378 и EN 60335 включены рекомендации по проведению имитации утечки.



Имитацию утечки следует проводить в среде, аналогичной той, в которой будет располагаться система. При проведении испытаний необходимо учитывать размеры помещения и наличие источников воспламенения у находящегося рядом оборудования.

Места потенциальных утечек

Места потенциальных утечек обычно включают в себя места соединений, изгибов с углом более 90°, участки труб и компонентов, которые могут быть повреждены, а также любые другие слабые места в системе.

Необходимо следить за тем, чтобы монтаж источника утечки (например, трубы, подсоединенной к баллону с УВ, через которую будет происходить утечка в зону), расположение холодильной системы и оборудования для отбора проб хладагента не оказывали существенного влияния на результаты испытаний. Оборудование для измерения концентрации хладагента должно достаточно быстро реагировать на изменение концентрации (обычно в течение 2 - 3 секунд).

Любая зона, где концентрация хладагента на любом этапе испытаний может превысить 50% нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ), считается потенциально взрывоопасной¹⁶. Коэффициент 0,5 используется, поскольку утечка горючего хладагента определяется как вторичный выпуск.

Имитация утечки также помогает определить границы зоны вокруг системы, в пределах которой не должно быть источников воспламенения. Если потенциально взрывоопасная зона может образоваться за пределами зоны размещения системы, важно, чтобы другое оборудование, расположенное в такой зоне, предназначалось для использования в потенциально взрывоопасной среде.

Электрические устройства

Имитация утечки помогает определить наличие источников воспламенения в потенциально взрывоопасной зоне. Электрические устройства в потенциально взрывоопасной зоне не должны:

- образовывать электрическую дугу или искру (если указанная дуга или искра не защищена от воспламенения в соответствии с пунктами 16-20 стандарта МЭК EN60079-15 «Взрывоопасные среды. Оборудование с видом взрывозащиты "n"»);
- достигать максимальной температуры поверхности, превышающей максимальную температуру, соответствующую температурному классу устройства (если отсутствует защита от воспламенения в результате повышения температуры в соответствии с пунктами 16-20 стандарта МЭК EN60079-15).

Источники воспламенения

Источники воспламенения, связанные с холодильными системами, обычно включают в себя:

- двухпозиционные переключатели или контакты;
- реле (например, на регуляторах и однофазных компрессорах);
- реле давления;
- реле тепловой защиты;
- вентиляторные двигатели;
- термостаты;
- дренажные насосы;
- минивыключатели;

¹⁶ Стандарт EN60079-10-1:2015 «Взрывоопасные среды. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды»

- нагревательные приборы систем оттайки, если их поверхность может нагреваться до температуры, которая на 100°C ниже температуры воспламенения хладагента, например 360°C для УВ (максимальная температура поверхности нагревателя должна быть определена опытным путем при максимальной температуре окружающей среды, в условиях отказа отключения системы оттайки).
- горячие поверхности (выше 360°C).

Этот список не является исчерпывающим, он включает в себя наиболее распространенные электрические устройства, которые необходимо рассмотреть.

Ниже приведены устройства, которые, как правило, не являются источниками воспламенения:

- освещение (выключатель, пусковой стартер и выводы кабелей необходимо рассматривать даже для низковольтного освещения),
- конденсаторы (рекомендуется установить разряжающие резисторы для минимизации опасности, вызванной разрядом при обслуживании);
- обмотка электромагнитного клапана;
- соединения электропроводов (случайное отключение, например, во время обслуживания, может привести к возникновению искры. Для минимизации этого риска при использовании обжимных клемм, рекомендуется использовать концевые соединители, которые нельзя случайно отключить);
- предохранители (считаются искробезопасными, если плавкая вставка не сменная, а также предохранители кассетного типа с указателем и без указателя срабатывания, в соответствии со стандартом IEC60269-3 «Предохранители плавкие низковольтные. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предохранителям для эксплуатации неквалифицированным персоналом (плавкие предохранители бытового и аналогичного назначения)» - примеры плавких предохранителей: типы А - F, работающие в пределах их технических характеристик¹⁷).

Обращение с источниками воспламенения

Существуют различные методы обращения с источниками воспламенения в потенциально взрывоопасной зоне (см. этап 1.3).

При выборе варианта 2 («соответствующие устройства»), устройство должно соответствовать стандарту МЭК EN60079-15. В этом стандарте вид взрывозащиты "n" определяется как вид защиты, который при эксплуатации в нормальных, а также определенных аномальных условиях не вызовет воспламенения окружающей взрывоопасной газовой среды. Поэтому коммутационные электрические аппараты, расположенные в потенциально взрывоопасной среде, должны иметь вид взрывозащиты "n" в соответствии со стандартом МЭК EN60079-15 «Взрывоопасные среды. Оборудование с видом взрывозащиты "n"».

Оборудование с видом взрывозащиты "n" должно пройти испытания уполномоченным органом технической экспертизы и правильно задокументировано.

¹⁷ Стандарт EN60079-15:2010 «Взрывоопасные среды. Оборудование с видом взрывозащиты "n"», пункт 9.1

Электрические соединения в потенциально взрывоопасной зоне опасны в случае отключения под напряжением. Вилки и розетки, если они расположены и подключены только к части оборудования, должны быть закреплены механически для предотвращения непреднамеренного отсоединения, или иметь минимальное усилие размыкания 15 Нм. На оборудовании должна быть надпись¹⁸:

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: не отключайте под напряжением

Корпуса предохранителей должны быть заблокированы таким образом, чтобы предохранители можно было снимать или менять только при отключенном питании или на корпусе должна быть нанесена следующая предупредительная надпись¹⁹:

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: не снимайте и не меняйте предохранитель под напряжением

Провода без изоляции нельзя использовать под напряжением в качестве проводников, кроме установки в распределительных щитах, корпусах или кабельных каналах²⁰.

Вентиляторы. Наличие вентиляции позволяет не менять электрические устройства или корпуса если:

- вентиляторы конденсаторов могут работать постоянно (т.е. не выключаться, когда система отключается по температуре). Это увеличивает энергопотребление системы;

или

- при выключении вентилятора конденсатора может включаться дополнительный вентилятор. Достаточный приток воздуха обычно обеспечивается вентилятором, меньшим, чем вентилятор, который используется для охлаждения конденсатора, поэтому количество потребляемой энергии обычно меньше, чем при постоянно работающем вентиляторе конденсатора. Приток воздуха от дополнительного вентилятора необходимо проверять с помощью имитации утечки, чтобы обеспечить достаточный приток воздуха для рассеивания УВ-хладагента.

Необходимо следить за чистотой ребрения конденсаторов или неисправностями вентиляторных двигателей, которые могут привести к значительному уменьшению притока воздуха, особенно если они являются основными видами защиты источников воспламенения.

¹⁸ Стандарт EN60079-15:2010 «Взрывоопасные среды. Оборудование с видом взрывозащиты "n"», пункты 10.1 и 24.3.1

¹⁹ Стандарт EN60079-15:2010 «Взрывоопасные среды. Оборудование с видом взрывозащиты "n"», пункт 9.4

²⁰ Стандарт EN60079-14:2014 «Взрывоопасные среды. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок»

Модуль 3. Вопросы самопроверки

Ответьте на несколько вопросов, чтобы проверить свои знания:

Вопрос 1 -

Какое давление R744 в системе, которая находится в отключенном состоянии при температуре окружающей среды 20°C?

- i. 4,9 бар
- ii. 7,4 бар
- iii. 55 бар
- iv. 72,8 бар

Вопрос 2 –

Какой приблизительный типоразмер компрессора на R600a, по сравнению с компрессором на R134a, необходим для обеспечения эквивалентной удельной холодопроизводительности?

- I. в семь раз больше
- II. в два раза больше
- III. такой же
- IV. в половину меньше

Вопрос 3 –

Ниже какой температуры конденсации работает субкритическая система на R744?

- I. 55° C
- II. 43° C
- III. 31° C
- IV. 72° C

Вопрос 4 –

При использовании R1270, выше какой температуры горячие поверхности становятся потенциальными источниками воспламенения?

- I. 60° C
- II. 150° C
- III. 260° C
- IV. 360° C

Правильные ответы приведены в конце следующей страницы.

Что дальше?

Этот Модуль содержит общую информацию о наиболее распространенных альтернативных хладагентах. Документы, указанные в ссылках, содержат гораздо больше информации. Перейдите в электронную библиотеку по адресу www.realalternatives4life.eu/e-library, чтобы получить полезную дополнительную информацию.

Если вы хотите получить сертификат профессионального развития (CPD) «REAL Alternatives 4 LIFE», вам необходимо пройти аттестацию по окончании обучения в учебном центре, аккредитованном «REAL Alternatives 4 LIFE». Информация о процедуре аттестации доступна по адресу: <http://www.realalternatives4life.eu>

Вы можете продолжить самостоятельное обучение, используя Модули Программы «**Real Alternatives 4 LIFE Europe**»:

1. Альтернативные хладагенты. Введение. Безопасность, эффективность, надежность и надлежащие практики
2. Безопасность и управление рисками
3. Особенности проектирования систем на альтернативных хладагентах
4. Предотвращение и определение утечек альтернативных хладагентов
5. Техническое обслуживание и ремонт систем на альтернативных хладагентах
6. Ретрофит существующих систем на альтернативные хладагенты с низким ПГП
7. Законодательство и стандарты по альтернативным хладагентам
8. Влияние утечек хладагентов на экономику и окружающую среду
9. Обследование объектов и рекомендации по сокращению утечек хладагентов

Условия использования

Материалы Программы «REAL Alternatives 4 life» бесплатно предоставляются учащимся в учебных целях и не могут быть проданы, напечатаны, скопированы или воспроизведены без предварительного письменного разрешения. Авторские права на все материалы принадлежат Институту Холода (Великобритания) и партнерам. Материалы были разработаны экспертами и прошли экспертизу и апробацию, при этом Институт и партнеры не несут ответственности за возможные ошибки или неточности. © IOR 2015 г., редакция 2018 г.

Этот проект финансируется при поддержке Европейской Комиссии. Данный материал отражает только точку зрения автора, и Программа ЕС «LIFE» не несет ответственности за любое использование содержащейся в нем информации.

Правильные ответы: B1 = iii, B2 = ii. B3 = iii, B4 = iv.

Финансирование и координация работ по переводу на русский язык данного документа осуществлена Региональным центром Программы развития ООН для стран Европы и СНГ в рамках проекта ПРООН-ГЭФ «Содействие в реализации ускоренного вывода из обращения ГХФУ в странах с переходной экономикой».

Перевод: Елена Карпенко, «Globe MPS Group»

Рецензия: Александр Бамбиза, технический координатор проекта ПРООН-ГЭФ в Беларуси

Координация: Селимкан Азизоглу, руководитель регионального проекта, Региональный центр Программы развития ООН для стран Европы и СНГ