



**BITZER**  
I · N · T · E · R · N · A · T · I · O · N · A · L

# Обзор хладагентов

Издание 13

A-501-13



## 3 Введение

## 3 Перспективы развития хладагентов

## 4 Альтернативные хладагенты

## 6 Глобальное потепление и фактор TEWI

## 7 HCFC хладагенты

## 7 R22 как переходной хладагент

## 9 Хлор-несодержащие HFC хладагенты

## 9 R134a как заменитель R12 и R22

## 11 R152a – альтернатива R134a (?)

## 11 R125, R143a и R32 как компоненты смесевых хладагентов

## 12 Смесевые хладагенты

## 14 Промежуточные смеси с базовым компонентом R22 как заменители R502

## 15 Промежуточные смеси как заменители R12 (R500)

## 16 Хлор-несодержащие альтернативы R502 (смеси)

## 16 R404A и R507A как заменители R502

## 17 R407A и R407B как заменители R502

## 18 R422A (ISCEON 79) как заменитель R502

## 19 Хлор-несодержащие альтернативы R22

## 19 R407C как заменитель R22

## 20 R410A как заменитель R22

## 21 R417A и ISCEON 29 как заменители R22

## 21 R419A (FX90) как заменитель R22

## 22 Безгалоидные хладагенты

22 NH<sub>3</sub> (аммиак) как заменитель R2223 R723 (NH<sub>3</sub>/DME) как альтернатива NH<sub>3</sub>

## 24 R290 (пропан) как заменитель R502 и R22

## 26 Пропилен (R1270) как альтернатива пропану

26 Двуокись углерода R744 (CO<sub>2</sub>) как альтернативный хладагент и вторичный хладоноситель

## 29 Специальные приложения

## 32 Свойства хладагентов

## 24 Области применения - масла

## Введение

Принятые международными комитетами меры по предотвращению разрушения слоя стратосферного озона, а также возникновения парникового эффекта в атмосфере из-за выбросов хладагентов привели, начиная с начала 90-х годов, к радикальным изменениям в технологиях кондиционирования воздуха и искусственного охлаждения.

Это утверждение в особенности справедливо для промышленных установок охлаждения и кондиционирования воздуха с их широкой областью применения. До недавнего времени в этих системах использовались в основном озоноразрушающие хладагенты, а именно R12, R22 и R502; для особых целей применялись R114, R12B1, R13B1, R13 и R503.

Промышленно развитые страны отныне не разрешают использовать эти хладагенты, кроме R22. В странах Европейского Союза, однако, в настоящее время уже действует поэтапная программа отказа также и от R22 (пояснения см. на стр. 7).

Основной причиной такого более раннего, в отличие от международных соглашений, запрета R22 является потенциал разрушения озонового слоя, хотя он и весьма незначителен.

Такое положение дел приводит к колоссальным последствиям для всей отрасли искусственного охлаждения и кондиционирования воздуха. Поэтому BITZER посвятил себя тому, чтобы стать лидером в исследовании и развитии проектирования безопасных для окружающей среды холодильных систем.

Хотя уже прочно вошли в практику такие хлор-несодержащие хладагенты на основе гидрофторуглеродов (ГФУ - HFC), как R134a, R404A, R507A, R407C, R410A, а также NH<sub>3</sub> и различные углеводороды, все еще нужно сделать немало, особенно в отношении воздействия на глобальное потепление. Целью является существенное уменьшение прямых выбросов, вызываемых утечками хладагентов, за счёт использования высокоэффективных установок, смонтированных из надёжных компонентов с высоким качеством соединений трубопроводов.

В связи с этим происходит тесное сотрудничество с научными институтами, с предприятиями холодильной и химической промышленности, производителями компонентов, а также с

рядом новаторских компаний в области охлаждения и кондиционирования воздуха.

Выполнено большое число разработок; уже доступен широчайший диапазон компрессоров и оборудования для различных альтернативных хладагентов.

Кроме выполнения опытно-конструкторских работ BITZER активно поддерживает официальные правила и нормы и добровольные обязательства, касающиеся ответственного использования хладагентов (см. также стр. 6).

В настоящем обзоре рассматриваются возможности по переходу в краткосрочной и среднесрочной перспективе на безопасные для окружающей среды хладагенты в средних и крупных промышленных холодильных установках и систем кондиционирования воздуха. Также рассмотрен уже существующий опыт и происшедшие перемены в холодильной технике.

\*\*\*

Результаты нескольких исследований подтверждают, что обычно применяемые в промышленных целях парокompрессионные холодильные установки, значительно превосходят по эффективности установки, принцип действия которых основан на других процессах, при температурах кипения около -40°C.

Сегодня особое значение имеет выбор альтернативных хладагентов и конструкций системы охлаждения. Помимо требования отсутствия озоноразрушающего потенциала (ODP=0) и потенциала воздействия на глобальное потепление (GWP=0) существенным критерием выбора является величина энергопотребления систем охлаждения, как косвенного вклада в создание парникового эффекта.

Поэтому был разработан метод расчёта систем охлаждения, позволяющий проанализировать их суммарное воздействие на парниковый эффект.

В связи с этим введен так называемый фактор "TEWI" (Total Equivalent Warming Impact - суммарное эквивалентное воздействие на потепление), хотя результат определяется главным образом выбросами CO<sub>2</sub> в зависимости от применяемого способа привода или выработки энергии (дальнейшая информация на стр. 6).

Поэтому, возможно в будущем оценка воздействия хладагентов на окружающую среду будет различной в зависимости от местоположения установки и способа ее привода.

Более детальное рассмотрение ГФУ-хладагентов-заменителей (HFC) показывает, однако, что возможности полностью сопоставимых однокомпонентных хладагентов ограничены. Относительно благоприятна ситуация с заменой R12 на R134a, так же как и R502, на альтернативные R404A и R507A. Хуже обстоит дело с заменителями для других хлорсодержащих CFC, а также HCFC-хладагентов, например, для R22.

Хладагенты R32, R15 и R134a рассматриваются как прямые ГФУ-хладагенты-заменители (HFC). Однако из-за их специфичных характеристик они могут применяться в чистом виде лишь в исключительных случаях. В этом отношении наиболее важными критериями являются воспламеняемость, термодинамические свойства и потенциал влияния на глобальное потепление. Эти вещества гораздо более пригодны в качестве компонентов смесей, в которых отдельные характеристики путем варьирования пропорций смеси могут быть приведены в соответствие требованиям.

Кроме ГФУ-хладагентов, в качестве заменителей рассматриваются также аммиак (NH<sub>3</sub>) и углеводороды. Их промышленное применение, однако, ограничивается жесткими требованиями безопасности.

Двуокись углерода (CO<sub>2</sub>) также приобретает большее значение как альтернативный хладагент и вторичный хладоноситель. Однако его повсеместное применение ограничено из-за его специфичных свойств.

Иллюстрации на следующих страницах содержат структурный обзор альтернативных хладагентов, а также подобранную информацию о доступных в настоящее время однокомпонентных или смесевых хладагентах. После этого рассматриваются отдельные категории.

Ввиду растущего интереса к заменителям для R114, R12B1, R13B1, R13 и R503, в обзоре рассматриваются также возможные альтернативы и для них.

На стр. с 32 по 35 приведены данные по хладагентам, областям их применения и спецификации холодильных масел.

В целях ясности изложения в этом выпуске не приведены данные менее известных или только локально известных хладагентов, что не предполагает какого-либо умаления их значения.

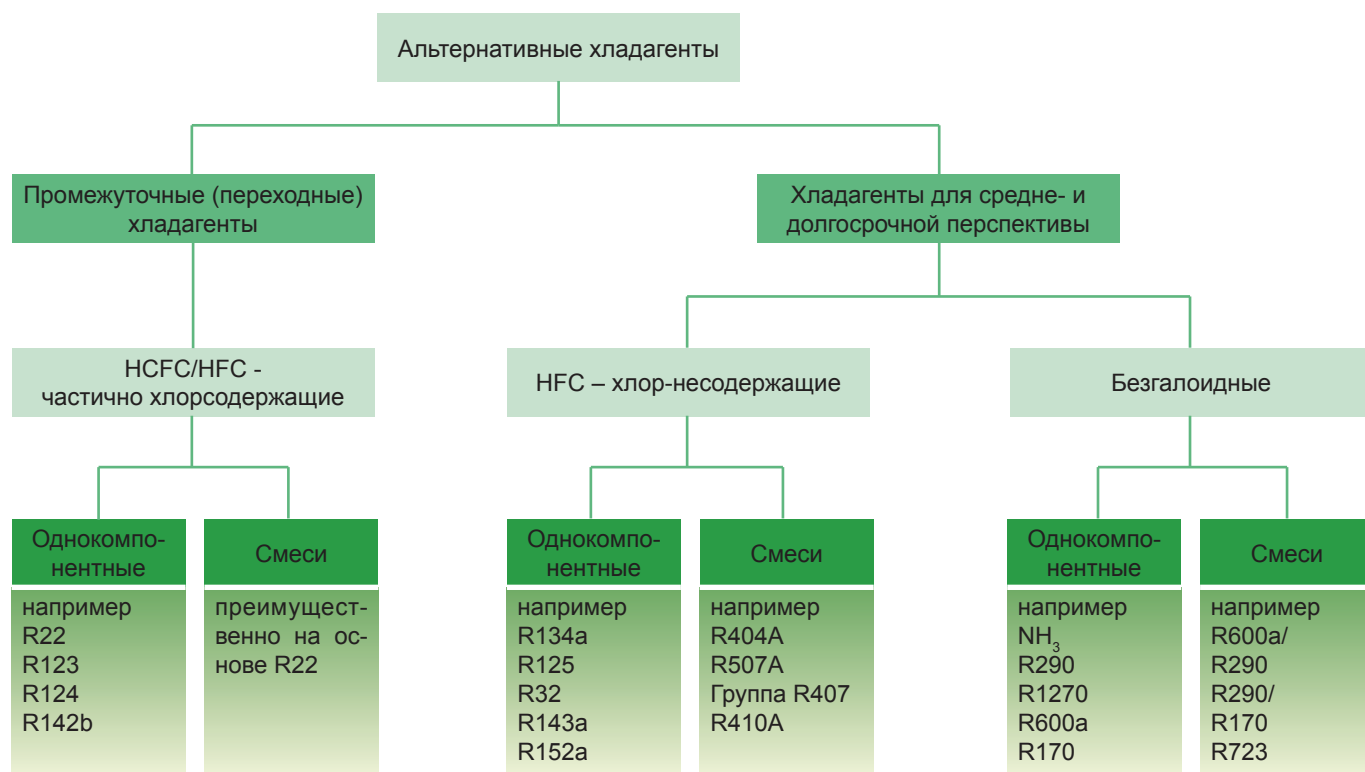


Рис. 1 Общий обзор альтернативных хладагентов

## Промежуточные (переходные) хладагенты

09.04

Предыдущие хладагенты	Альтернативы				
	Классификация ASHRAE	Промышленное наименование		Состав (в смесях)	Детальная информация
R12 (R500)	R401A R401B R409A R409B R413A ④	MP39 MP66 FX56 FX57 ISCEON 49	DuPont DuPont Atofina/Solvay Atofina Rhodia	R22/152a/124 R22/152a/124 R22/124/142b R22/124/142b R134a/218/600a	стр. 15, 32...35
R502	R22 R402A R402B R403A R403B R408A	- HP80 HP81 ISCEON 69S ISCEON 69L FX10	- DuPont DuPont Rhodia Rhodia Atofina	- R22/125/290 R22/125/290 R22/218/290 R22/218/290 R22/143a/125	стр. 7, 8, 14, 15, 32...35
R114 R12B1	R124 ③ R124 ① ③	- -	- -	- -	стр. 29, 32...35
R13B1 R13 R503	Альтернативы см. рис. 3 “Хлор-несодержащие HFC хладагенты”				

Рис. 2 Альтернативы для CFC хладагентов (промежуточные (переходные) хладагенты)



## Хлор-несодержащие HFC хладагенты и смеси (альтернативы для долгосрочной перспективы)

09.04

Предыдущие хладагенты	Альтернативы				
	Классификация ASHRAE	Промышленное наименование		Состав (в смесях)	Детальная информация
R12 (R500)	R134a R152a (1)	-			стр. 9...11, 32...35
R502	R404A R507A R407A, R407B R422A	различное KLEA 407A, 407B ISCEON 79	INEOS Fluor Rhodia	R143a/R125/R134a R143a/125 R32/125/134a R125/134a/600a	стр. 16...18, 32...35
R22	R407C R410A R417A - R419A	различное различное ISCEON 59 ISCEON 29 FX90	Rhodia Rhodia Atofina	R32/125/134a R32/125 R125/134a/600 R125/134a/600a R125/R134a/R-E170	стр. 19...21, 32...35
R114 R12B1	R236fa R227ea	- -		- -	стр. 29, 32...35
R13B1	R410A - -	различное FX 80 ISCEON 89	Atofina Rhodia	R32/125 R32/125 R125/218/290	стр. 29, 30, 32...35
R13 R503	R23 R508A R508B	- KLEA 508A Suva95	INEOS Fluor DuPont	- R23/116 R23/116	стр. 30, 32...35

Рис. 3 Альтернативы для хладагентов CFC и HCFC (хлор-несодержащие хладагенты HFC)

## Безгалоидные хладагенты (альтернативы для долгосрочной перспективы)

09.04

Предыдущие хладагенты	Альтернативы				
	Классификация ASHRAE	Промышленное наименование		Состав (в смесях)	Детальная информация
R12 (R500)	R290/600a ① R600a ①③	- -		$C_3H_8/C_4H_{10}$ $C_4H_{10}$	стр. 24, 32...35
R502	R717 ①② R290 ① R1270 ①	- - -		$NH_3$ $C_3H_8$ $C_3H_6$	стр. 22...26, 32...35
R22	R717 ①② R723 ①②⑤ R290 ① R1270 ①	- - - -		$NH_3$ $NH_3 + R-E170$ $C_3H_8$ $C_3H_6$	стр. 22...26, 32...35
R114 R12B1	R600a ①	-		$C_4H_{10}$	стр. 29, 32...35
R13B1	нет доступных прямых альтернатив				
R13 R503	R170 ①	-		$C_2H_6$	стр. 30, 32...35
Другие	R744 ③	-		$CO_2$	стр. 26, 28, 32...35

Рис. 4 Альтернативы для CFC и HCFC хладагентов (безгалоидные хладагенты)

Пояснения к рис. 2-4 ① легковоспламеняем ③ большое отклонение по охлаждающей способности и давлениям от предыдущего хладагента ④ хлор-несодержащий переходной хладагент ⑤ Азеотроп

② токсичен

## Глобальное потепление и фактор TEWI

Как уже упоминалось во введении, была разработана методика оценки воздействия отдельных холодильных установок на эффект глобального потепления (TEWI = Total Equivalent Warming Impact - суммарное эквивалентное воздействие на потепление).

Все галогеноуглеродные хладагенты, включая хлор-несодержащие гидрофторуглероды (HFC), относятся к категории парниковых газов. Выбросы этих веществ вносят вклад в глобальный парниковый эффект. Степень их воздействия, однако, гораздо больше по сравнению с CO<sub>2</sub>, являющимся основным парниковым газом в атмосфере (в дополнение к водяным парам). Например, если взять временной интервал в 100 лет, выброс 1 кг R134a приблизительно эквивалентен выбросу 1300 кг CO<sub>2</sub> (GWP100 = 1300). Уже из этих фактов ясно, что уменьшение выбросов хладагентов должно быть одной из основных задач в будущем.

С другой стороны, основной вклад в воздействие, оказываемое холодильными установками на глобальное потепление, вносят выбросы (косвенные) CO<sub>2</sub> при выработке энергии. С учетом высокого процента использования ископаемого топлива на электростанциях, средняя величина выброса CO<sub>2</sub> в Европе составляет около 0,6 кг на один киловатт-час электроэнергии. В результате установка за время ее службы вносит существенный вклад в парниковый эффект.

Кроме требования применения альтернативных хладагентов с термодинамически благоприятным энергопотреблением, необходимо также сделать акцент на необходимость применения высокоэффективных компрессоров и сопутствующего оборудования, а также оптимизированных компонентов систем ввиду их значимой доли в общем балансе.

Сравнивая различные конструкции компрессоров, можно видеть, что косвенные выбросы CO<sub>2</sub> вследствие более высокого энергопотребления могут оказывать большее суммарное воздействие на парниковый эффект, чем выбросы хладагентов.

На рис. 5 показана обычно применяемая формула расчета фактора TEWI с соответствующим выделением различных направлений воздействия на глобальное потепление.

Кроме того, пример на рис. 6 показы-

вает (при средних температурах применения R134a) влияние на величину TEWI различных объемов хладагента, потерь на утечки и величины энергопотребления.

В примере суммарная величина утечек упрощенно принята в процентах от объема хладагента. Как известно, на практике величина утечек варьируется в чрезвычайно широких пределах, ввиду чего особенно высок потенциальный риск при эксплуатации индивидуально сооруженных систем и сильно разветвленных установок.

Во всем мире прилагаются усилия для уменьшения выброса парниковых газов, и уже частично разработаны официальные нормативы. В настоящее время для территории Евросоюза разрабатывается "Положение о фторсодержащих газах", которое, вероятно, для государств-членов Евросоюза вступит в силу закона в 2006 году.

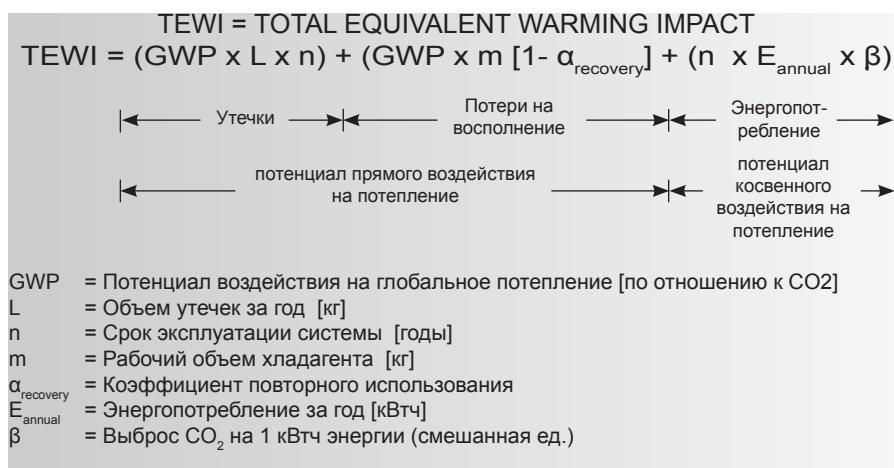


Рис.5 Методика расчета величины TEWI

**Пример**

Средняя температура R134a

SST -10 °C

SCT +40 °C

m 10 кг // 25 кг

L[10%] 1 кг // 2,5 кг

CAP 13,5 кВтч

E 5 кВтч x 5000 час/год

$\beta$  0,6 кг CO<sub>2</sub>/кВтч

$\alpha$  0,75

n 15 лет

GWP 1300 (CO<sub>2</sub> = 1)

временной интервал 100 лет

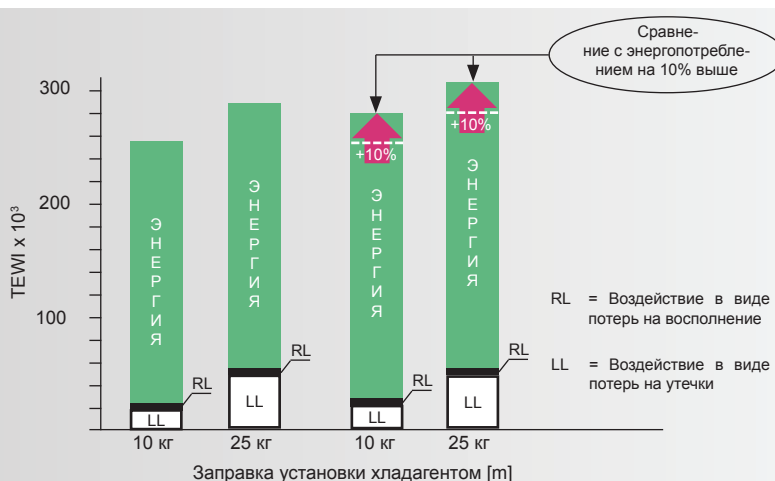


Рис. 6 Пример сравнительных значений TEWI

## R22 как переходный хладагент

Несмотря на то, что хлор-несодержащие хладагенты R134a и R404A/R507A (рис. 1 и 3) в значительной степени продвинулись на рынки как заменители R12 и R502, во многих областях холодильной промышленности продолжается применение R22 как в новых установках, так и для модернизации старых установок.

Причинами являются не только сравнительно низкие капиталовложения, особенно по сравнению с системами на R134a, но и широкий диапазон применения, благоприятные термодинамические свойства и низкие энергозатраты. К этому можно добавить повсеместную доступность R22 и испытанных компонентов для него, что пока еще не гарантировано для хлор-несодержащих альтернативных хладагентов.

Последнее утверждение справедливо также и для “зеотропных” промежуточных хладагентов (рис. 1 и 2). Кроме того, многие эти смеси хладагентов содержат R22, и поэтому применять их имеет смысл лишь там, где неоптимально применять чистый R22 ввиду его высоких рабочих температур. Для этих смесей требуются особые проце-

дуры обращения (см. раздел “Смесевые хладагенты”, начинающийся со стр. 12).

Несмотря на в целом благоприятные свойства, R22 уже является субъектом различных региональных ограничений\*, регулирующих применение этого хладагента в новых системах и в переходных целях ввиду его озоноразрушающего потенциала, хотя он и невелик.

В отношении компонентов и технологии монтажа холодильных систем необходимо принимать во внимание и ряд характерных особенностей. Хладагент R22 обладает удельной холодопроизводительностью и уровнями давления примерно на 55% выше, чем R12. Существенно более высокая температура нагнетания газа также является критическим фактором при сравнении с R12 (см. рис. 7) и R502.

\* Не разрешается применение в новых установках в Германии и Дании с 1 января 2000 года и в Швеции с 1998 года.

Начиная с 1 января 2001 года ограничения применяются также и в других странах-членах ЕС. Рассматриваемые меры определяются в новом положении 2037/2000 Европейской комиссии по озоноразрушающим веществам. Это положение регулирует, помимо прочего, также и применение R22 для сервисного обслуживания оборудования на всей территории ЕС.

Информацию о поэтапном отказе от R22 в мировом масштабе можно найти также по адресу [www.arap.org/docs/regs.html](http://www.arap.org/docs/regs.html).

Для установок на R22 требуются подходящие компрессоры; такие компрессоры для средних температур и кондиционирования воздуха доступны и испытаны временем.

Более трудным является вопрос охлаждения и кондиционирования воздуха в транспортных средствах - таких как легковые автомобили, грузовики, автобусы и поезда. Диапазон применения R22 в подобных целях сильно ограничен высокими уровнями давления и температур. Поэтому он находит здесь лишь отдельные случаи применения.

Применение R22 в низкотемпературных установках является также критичным в отношении термостойкости масла и хладагента ввиду его высокой температуры нагнетания из-за опасности кислотообразования в масле и омеднения внутренних поверхностей холодильного контура.

Для такого применения следует предпринимать такие особые меры, как двухступенчатое сжатие, управляемый впрыск хладагента, дополнительное охлаждение, контроль температуры нагнетания, ограничение перегрева всасываемого газа и, разумеется, аккуратный монтаж установки.

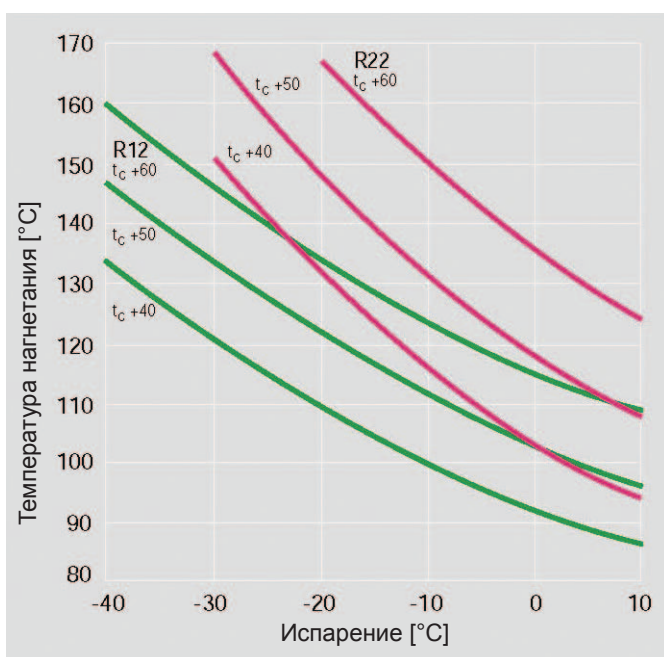


Рис.7 R12/R22 – Сравнение температур нагнетания в полугерметичных компрессорах

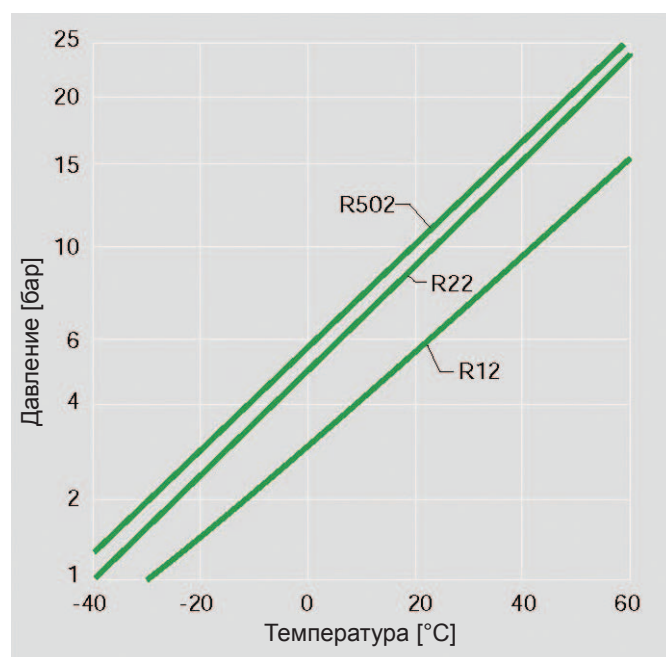


Рис.8 R12/R22/ R502 – Сравнение уровней давления

Для применения с R22 доступен несравненно широкий модельный ряд компрессоров BITZER:

- Поршневые компрессоры открытого и полугерметичного типов с номинальной мощностью двигателя от 0,37 до 74 кВт со специальными конструктивными особенностями для низкотемпературной эксплуатации
  - полугерметичные VARICOOL (до 5,5 кВт)
  - одноступенчатые полугерметичные с системой (до 60 кВт)
  - двухступенчатые компрессоры (до 44 кВт)
- Винтовые компрессоры открытого и полугерметичного типов с номинальной мощностью двигателя от 15 до 220 кВт (общая мощность при параллельной работе до 400 кВт) для одно- и двухступенчатых систем.

### Перевод существующих установок на R22

Существующие установки, работающие на R12, без замены основных узлов могут быть переведены на R22 только ограниченно. Если даже компрессор, теплообменник и сосуд высокого давления пригодны для работы на R22, холодопроизводительность и потребляемая мощность при той же объемной производительности компрессора после перевода установки на R22 существенно возрастают. Разность температур испарения и конденсации будет значительно больше, и могут даже возникнуть ненормальные или критические условия работы.

Установка компрессора с той же холодопроизводительности, что и при работе на R12, но с меньшей объемной производительностью может привести к нестабильной работе испарителя и миграциям масла из-за снизившейся

скорости потока, циркулирующего по холодильному контуру.

Установки R502 могут быть переведены на R22 в большинстве случаев с приемлемыми затратами. Отдельные узлы, тем не менее, должны быть проверены на пригодность и, возможно, модифицированы или заменены.

В этой связи необходимо также рассмотреть возможное существенное уменьшение массового расхода R22.

Дополнительная информация от BITZER  
(См. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-650 “Модернизация с целью перевода работающих на R12 и R502 холодильных систем на альтернативные хладагенты”



### R134a как заменитель R12 и R22

R134a был первым всесторонне проверенным хлор-несодержащим (ODP=0) HFC хладагентом. В настоящее время он с хорошими результатами используется во многих холодильных установках и системах кондиционирования во всем мире. Помимо применения в чистом виде, R134a используется также как компонент множества смесей (см. "Смесевые хладагенты", стр. 12).

#### R134a обладает аналогичными с R12 термодинамическими свойствами:

удельная холодопроизводительность и потребляемая мощность, а также термодинамические свойства и уровни давлений сопоставимы, по меньшей мере, для систем кондиционирования и среднетемпературных холодильных установок. Поэтому R134a может использоваться как заменитель R12 в большинстве случаев применения.

В некоторых установках **даже предпочтительнее заменять R22 на R134a**, причиной чего являются ограничения на использование R22 в новых установках. Однако более низкая удельная холодопроизводительность R134a (см. рис. 9/2) требует применения компрессора большей объёмной производительности, чем R22. Необходимо также принимать во внимание ограничения, имеющие место в установках с низкой температурой испарения.

Всесторонние испытания показали, что производительность R134a превышает теоретические прогнозы в широком диапазоне режимов работы компрессоров. Уровни температур нагнетания и масла даже ниже, чем у R12 и, следовательно, существенно ниже, чем у R22. Таким образом, существует большое количество потенциальных применений его в системах кондиционирования и среднетемпературных холодильных установках. В частности, экономичности применения благоприятствуют хорошие показатели теплопередачи в испарителях и конденсаторах (в отличие от зеотропных смесей).

#### Холодильные масла для R134a и других хладагентов на основе гидрофторуглеродов

Вопрос подбора подходящего масла для R134a (и других HFC хладагентов, описанных ниже), явился целой проблемой. Традиционные минеральные и синтетические масла не смешиваются (не растворяются) с R134a и поэтому недостаточно хорошо транспортируются по контуру охлаждения. Несмешивающееся масло может осесть в теплообменниках и воспрепятствовать теплопередаче в такой степени, что дальнейшая эксплуатация установки станет невозможной.

Были разработаны новые смазки с приемлемой растворимостью в R134a; на данный момент - после длительной фазы тестирования - они применяются уже в течение нескольких лет. Эти

смазки основаны на полиолэфирах (POE) и полиалкиленгликолях (PAG). Они обладают схожими с традиционными маслами смазочными характеристиками, но более или менее гигроскопичны, в зависимости от растворяющей способности хладагента. Это требует специального обращения при их производстве (включая дегидратирование), транспортировке, хранении и заправке с целью избежания таких химических реакций в холодильной установке, как гидролиз.

Полиалкиленгликолевые масла особенно восприимчивы к водопоглощению. Кроме того, они имеют относительно низкую диэлектрическую прочность, вследствие чего не очень подходят для применения с герметичными и полугерметичными компрессорами. Поэтому они используются главным образом в автомобильных системах кондиционирования воздуха с компрессорами открытого типа, где к смазке предъявляются особые требования и требуется оптимальная растворимость ввиду высокой скорости циркулирования масла. Для избежания омеднения, в системах не следует применять содержащих медь материалов.

Остальная часть холодильной промышленности использует **эфирные масла**, для которых уже наработан обширный опыт применения. Результаты в общем случае положительны, если водосодержание в масле не превышает 100 промилле.

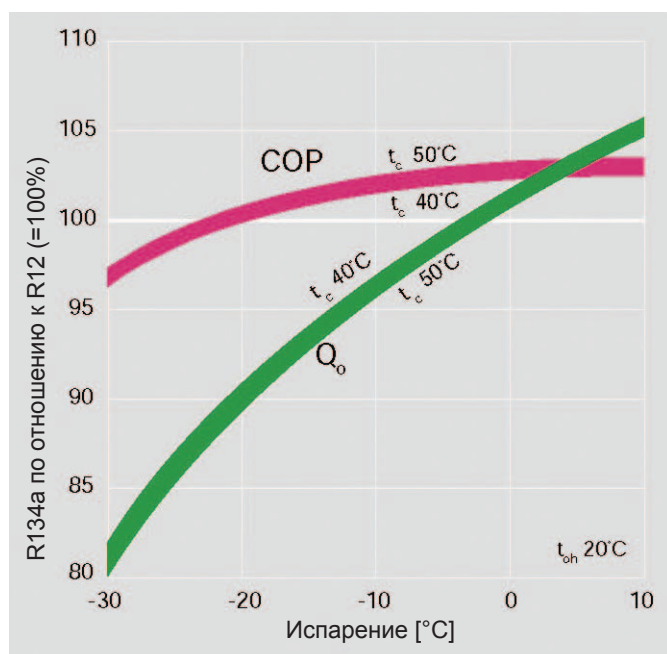


Рис.9/1 R134a/R12 – Сравнение холодопроизводительности полугерметичных компрессоров

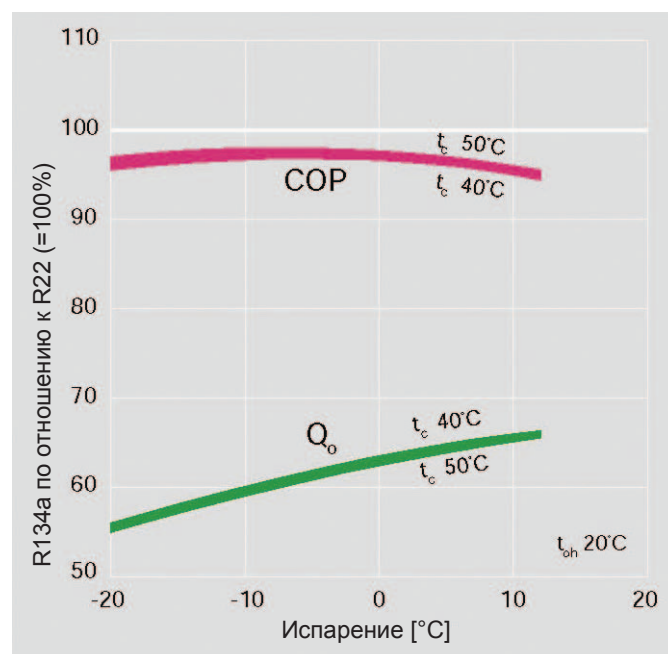


Рис.9/2 R134a/R22 – Сравнение холодопроизводительности полугерметичных компрессоров

Тем не менее, ведутся испытания возможных альтернатив для автобусов и коммерческого транспорта, так как применение гигроскопичного масла ведет к повышенному риску проникновения влаги из-за проницаемости шлангов и, отчасти, вследствие ненадлежащего обслуживания. Альтернативами являются почти нерастворимые алкилаты, текучесть и смазочные характеристики которых улучшаются с помощью добавок. Опыт эксплуатации с положительными результатами уже имеется; однако практическая реализация требует индивидуальной адаптации и испытаний систем.

Между тем, системы кондиционирования и холодильные агрегаты заводского изготовления все больше и больше заправляются **поливинилэфирными (PVE) маслами**. Несмотря на то, что они даже более гигроскопичны, чем POE, они весьма устойчивы к гидролизу, термически и химически стабильны, обладают хорошими смазочными свойствами и высокой диэлектрической прочностью. В отличие от POE они не склонны образовывать металлическое “мыло” и поэтому уменьшается опасность закупоривания капилляров.

### Итоговые критерии конструирования и монтажа установок

Для R134a требуются подходящие компрессоры, специальные масла и адаптированные узлы холодильных систем.

С эфирными маслами были также испытаны обычные металлические материалы, применяемые в установках с CFC хладагентами; иногда требуется подбирать эластомеры в соответствии с изменяющейся ситуацией. Это в особенности справедливо для гибких шлангов, требования к которым предусматривают минимальное остаточное содержание влаги и малую проницаемость стенок.

Установки должны быть обезвожены с особой тщательностью; так же тщательно должна производиться заправка или замена холодильного масла. Кроме того, необходимо встраивать в холодильный контур относительно крупные фильтры-осушители, которые должны также соответствовать более малому размеру молекул R134a.

*В результате многолетнего опыта, приобретенного в тесном сотрудничестве с крупнейшими производителями холодильных масел, BITZER может предложить полную гамму поршневых, винтовых и спиральных компрессоров на R134a, заправленных подходящим маслом. Получен положительный опыт на большом количестве холодильных установок и систем кондиционирования различной конструкции.*

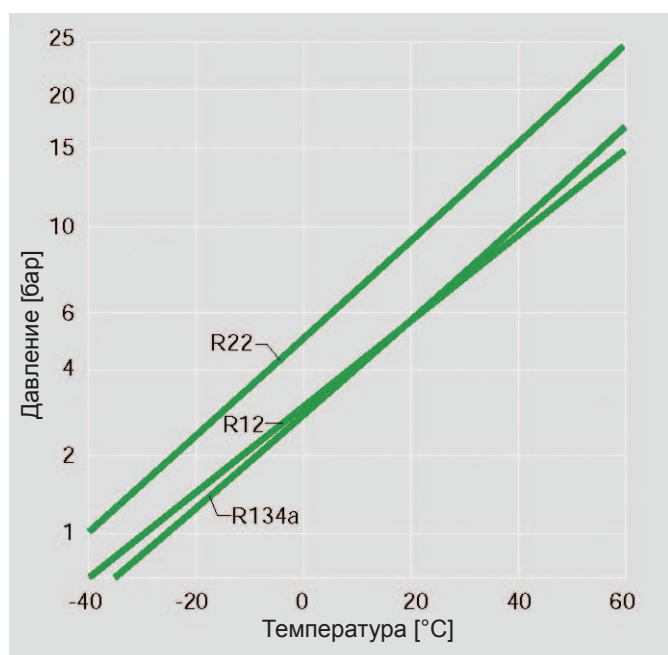


Рис. 10 R134a/R12/R22 – Сравнение уровней давления

### Перевод существующих установок R12 на R134a

Вначале этот вопрос обсуждался весьма бурно; были рекомендованы и внедрены несколько методик перевода. В настоящее время достигнуто полное согласие по технически и экономически приемлемым решениям.

Для данного случая весьма благоприятными показателями обладают эфирные масла. В определенных условиях они могут применяться с CFC-хладагентами, они могут смешиваться с минеральными маслами и допускают содержание хлора до нескольких сотен промилле в системах с R134a.

Однако на них крайне сильное влияние оказывает остаточное содержание влаги в системе. В связи с этим предъявляются существенные требования к тщательному удалению остаточного хлора и воды и установке фильтров-осушителей. Получен противоречивый опыт работы холодильных установок с маслами, химическая стабильность которых была недостаточна уже при работе на R12, из-за, например, некачественного обслуживания холодильной установки, малой производительности осушителей, высокой тепловой нагрузки. В них часто ускоряется образование отложений продуктов разложения масел, которые содержат хлор. Эти продукты выделяются при эксплуатации высокополяризованной смеси эфирного масла и R134a и попадают в компрессор и регулирующие устройства. Поэтому перевод должен быть ограничен холодильными установками, находящимися в хорошем состоянии.

Соответствующие процедуры перевода испытаны, но в определенных случаях может потребоваться индивидуальная адаптация.

Дополнительная информация BITZER относительно применения R134a (см. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-620 “Хладагент R134a на основе гидрофторуглеродов”
- Техническая информация KT-650 “Модернизация с целью перевода работающих на R12 и R502 холодильных систем на альтернативные хладагенты”
- Техническая информация KT-510 “Полиолэфирные масла для поршневых компрессоров”

## R152a – альтернатива R134a (?)

R152a весьма схож с R134a по уровню удельной холодопроизводительности (прибл. -5%), уровню давления (прибл. -10%) и энергетической эффективности. Массовый расход, плотность паров и, следовательно, перепад давлений, даже лучше (прибл. -40%).

До настоящего времени R152a долгое время применялся в качестве компонента смесевых хладагентов, но не как одноконтурный хладагент. Особенно благоприятным является его чрезвычайно низкий потенциал воздействия на глобальное потепление ( $GWP=140$ ; для сравнения у R134a  $GWP=1300$ ). Это является основной причиной того, что R152a уже в течение некоторого времени рассматривается как альтернативная замена R134a в автомобильных кондиционерах воздуха. Известно, что для транспортных агрегатов с компрессорами открытого типа и шланговыми соединениями в контуре хладонотителя характерен более высокий риск утечек, чем для стационарных систем, что представляет собой потенциальную опасность прямых выбросов, усугубляющих эффект глобального потепления.

Однако, как уже упоминалось выше, R152a легко воспламеняем – из-за низкого содержания фтора – и клас-

сифицируется по категории опасности A2. В результате, из-за повышенных требований безопасности необходим, наряду с соответствующим анализом риска, индивидуальный подход к конструкторским решениям и мерам безопасности.

Недостатком в случае более высокой степени сжатия является сравнительно высокая температура нагнетания в компрессоре, лежащая между уровнями температур для R134a и R22, известного своей высокой тепловой нагрузкой (рис. 11). Это представляет, с учетом требования химической стабильности контура и смазочных материалов, дополнительную трудность при экстремальных условиях эксплуатации в автомобильных агрегатах кондиционирования воздуха.

В настоящее время невозможно вынести окончательное решение по применимости R152a; о дальнейшем ходе дел будет сообщаться.

## R125, R143a и R32 как компоненты смесевых хладагентов

R125, R143a и R32 также относятся к хлор-несодержащим ( $ODP=0$ ) альтернативным хладагентам, несмотря на то, что два последних агента относятся к легковоспламеняемым (категория опасности A2) и поэтому не мо-

гут являться прямыми заменителями (H)CFC хладагентов. Кроме того, R32 характеризуется весьма высокими уровнями давления и температурами нагнетания.

R125 является невоспламеняемым, температура его кипения  $-48,5^{\circ}\text{C}$ , а показатель адиабаты сравнительно низок. По крайней мере, с этой точки зрения он схож с ранее часто применявшимся R502. Недостатками R125 являются крутая кривая давления, требующая более высокой степени сжатия, и весьма низкая критическая температура в  $66^{\circ}\text{C}$ . В связи с этим, область его применения в установках с конденсаторами с воздушным охлаждением ограничена, а эффективность использования энергии при высоких температурах конденсации относительно невелика.

По указанным причинам, вышеупомянутые хладагенты в чистом виде применяются лишь в исключительных случаях. С другой стороны, они хорошо сочетаются в смесях с такими добавками, как R134a (см. следующий раздел “Смесевые хладагенты”).

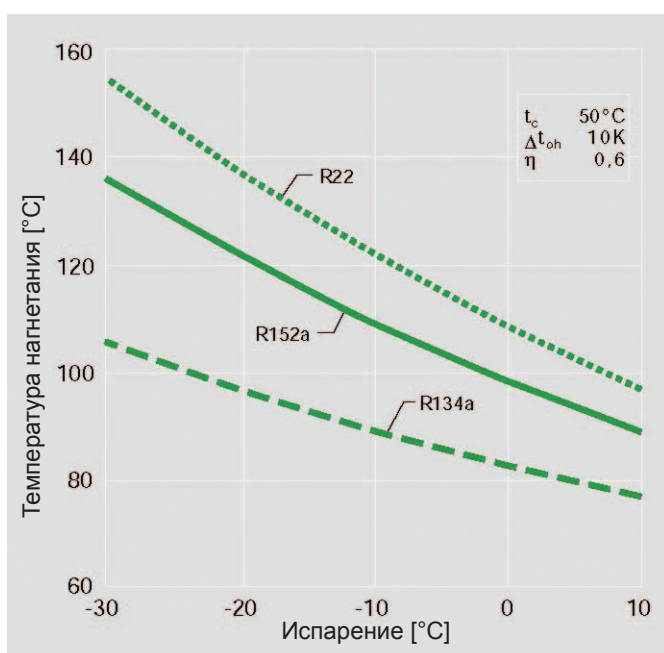


Рис. 11 R134a/R152a/R22 – Сравнение температур нагнетания

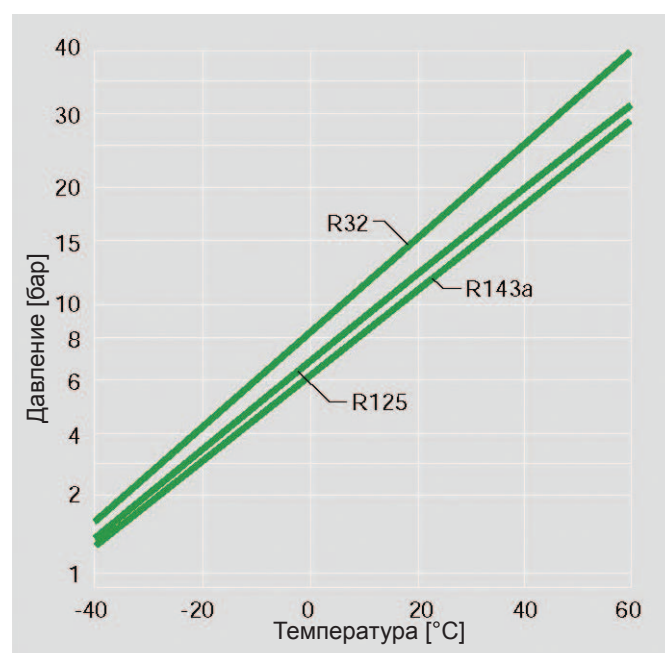


Рис. 12 R125/R143a/R32 – Сравнение уровней давления



## Смесеые хладагенты

Как для уже существующих, так и для новых холодильных установок были разработаны смесеые хладагенты со свойствами, которые делают их сопоставимыми альтернативами для ранее применявшихся хладагентов.

Хотя ситуация в настоящее время несколько упростилась, тем не менее диапазон возможностей остается весьма широким.

Необходимо проводить различие между двумя категориями:

### 1. Промежуточные, или переходные смеси

Главным компонентом большинства из этих смесей является гидрохлорфторуглерод (HCFC) R22. Они рассматриваются главным образом как переходные смеси для существующих установок, для которых следует ожидать ограничений по использованию R12, R502 и других CFC хладагентов (детали возможностей использования и официальные правила см. также стр. 7). Соответствующие смесеые хладагенты предлагаются различными производителями; имеющийся практический опыт охватывает необходимые шаги процедуры перехода на них.

### 2. Хлор-несодержащие гидрофторуглеродные смеси

Это долгосрочные заменители для хладагентов R502, R22, R13B1 и R503. Из них широкое применение уже нашли R404A и R507A.

Двух- и трехкомпонентные смеси уже имеют долгую историю применения в холодильной промышленности. Различаются так называемые “азеотропы” (например, R502) с термодинамическими свойствами, аналогичными свойствам однокомпонентных веществ, и “зеотропы” со “скользящими” фазовыми переходами (см. также следующий раздел). Разработка “зеотропов” была сосредоточена главным образом для специальных применений в низкотемпературных системах и в тепловых насосах. Такие системы остаются большой редкостью и сегодня.

В определенной степени более широкое применение нашла практика добавления R12 к R22 с целью улучшения возврата масла в компрессор и

уменьшения температуры нагнетания при более высоких степенях сжатия. Обычным являлось также добавление R22 в системы на R12 для улучшения производительности или добавление углеводородов для улучшения циркуляции масла по холодильному контуру при очень низких температурах.

Отправной точкой в разработке нового поколения смесеых хладагентов была, несомненно, возможность получения специфичного сочетания определенных характеристик.

Как уже упоминалось ранее, среди хлор-несодержащих однокомпонентных альтернатив нет прямых сравнимых заменителей для R502 и R22. Аналогична ситуация для R13B1 и R503.

Если пожароопасность недопустима, требуется токсикологическая надежность и, вдобавок, должны быть сопоставимы области применения, КПД, уровни давления и температуры, единственно возможными долгосрочными заменителями, не считая R134a для замены R12, остаются смеси.

Первоочередными являются **заменители для R502**, так как он использовался в больших объемах и уже является субъектом принятого во многих странах регламента постепенного вывода из обращения. Поэтому ниже в первую очередь рассматриваются уже утвердившиеся альтернативы для этого хладагента и результаты их широкого применения в реальных системах.

Другой центральной точкой являются **альтернативы для R22**.

*BITZER уже располагает богатым опытом работы с новым поколением смесеых хладагентов. Уже на ранней стадии были запущены лабораторные и промышленные испытания и получена базовая информация для оптимизации пропорций смесей и испытания подходящих масел. На основании этих данных уже в начале 1991 года стало возможным запустить крупную установку для супермаркетов с 4 параллельно работающими компрессорами 4G-20.2.*

*Даже после длительной работы отсутствовали признаки ненормального износа компрессоров и химических реакций в контурах.*

## Общие характеристики зеотропных смесей

В отличие от азеотропных смесей (таких как R502, R507A), ведущих себя в процессах испарения и конденсации как однокомпонентные хладагенты, фазовые переходы в зеотропных смесях происходят “скользящим” образом в определенном диапазоне температур.

Такое “температурное скольжение (глайд)” может быть более или менее выраженным и зависит главным образом от точек кипения и процентного соотношения отдельных компонентов. В зависимости от эффективных значений применяются также дополнительные определения, такие как “квази-зеотропное” или “полузеотропное” поведение при ширине диапазона скольжения менее 1 °K.

На практике это означает уже некоторое повышение температуры фазы испарения и уменьшение температуры фазы конденсации. Другими словами, для данного давления результирующие температуры насыщения в жидкой и газообразной фазах различаются (рис. 13).

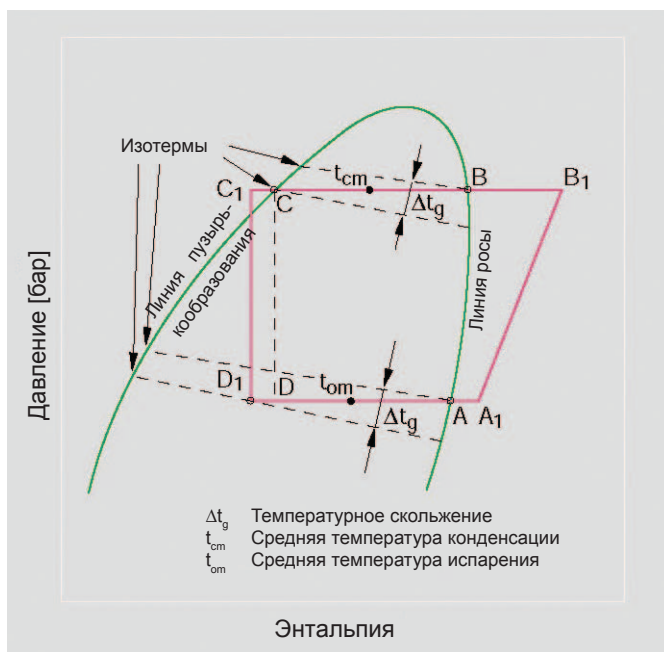
Для возможности сравнения с однокомпонентными хладагентами температуры испарения и конденсации определены главным образом как средние значения. Вследствие этого определенные на основе средних значений величины переохлаждения и перегрева не относятся в действительности к реально существующим веществам. Эффективный результат значения температур, относящихся к точке росы и точке пузырькообразования - в каждом случае несколько меньше.

Эти факторы весьма важны при оценке минимального перегрева на всасывании компрессора (обычно от 5 до 7 °K) и качества хладагента после прохода ресивера.

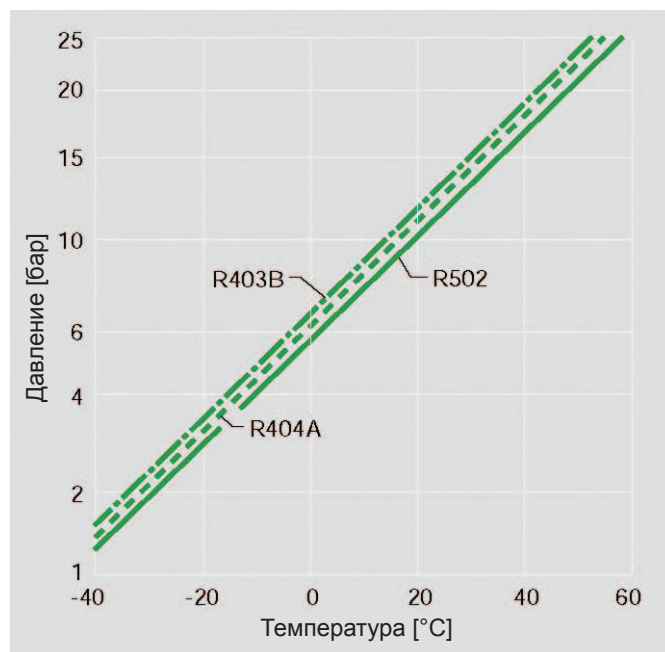
Что касается единообразного и понятного определения номинальной производительности компрессора, будут применяться пересмотренные стандарты EN12900 и ARI540. Температуры испарения и конденсации относятся к условиям насыщения (точкам росы).

- Температура испарения соответствует точке A (рис. 13).
- Температура конденсации соответствует точке B (рис. 13).





**Рис.13** Поведение зеотропных смесей при испарении и конденсации



**Рис.14** Уровни давления смесей по сравнению с R502

В этом случае также упростится оценка эффективного перегрева и переохлаждения.

Необходимо, однако, учитывать, что реальная холодопроизводительность системы может быть меньше номинальной производительности компрессора. Частично это происходит из-за более низкой эффективной температуры на входе испарителя.

Следующим свойством зеотропных хладагентов является возможное изменение соотношения долей компонентов в смеси при утечках. Утечки в чисто газовой и жидкой фазах являются, в основном, некритичными. Более существенны утечки в области фазовых переходов, например, после расширительного клапана, в испарителе и в конденсаторе или ресивере. Поэтому в этих узлах рекомендуется применять паяные или сварные соединения.

Расширенные исследования, между тем, показали, что утечки приводят к менее значительным изменениям соотношения долей компонентов в смеси, чем предполагали ранее. Несомненно, в любом случае, что рассматриваемые далее вещества не могут образовать какие-либо легковоспламеняющиеся смеси внутри или вне контура. При утечках смесей с малым температурным скольжением исходных рабочих условий и температур в установке можно добиться путем всего лишь добавления исходного хладагента.

Необходимо также принимать во внимание следующие дополнительные условия и рекомендации по обращению со смесями на практике:

- Установка всегда должна заправляться жидким хладагентом. Иначе при отборе пара из зарядного цилиндра в заправляемом контуре может произойти изменение соотношения долей компонентов.
- Так как все смеси содержат, по меньшей мере, один легковоспламеняемый компонент, следует избегать попадания воздуха в систему. При наличии большой доли воздуха может произойти критический сдвиг точки воспламенения при высоком давлении или разрезании.
- В установках с затопленными испарителями не рекомендуется применять смеси со значительным температурным скольжением. В таких испарителях возможны значительные изменения соотношения долей компонентов в результате циркуляции хладагента по контуру.

## Промежуточные смеси с базовым компонентом R22\* как заменители R502

Эти хладагенты относятся к группе “промежуточных смесей” и предлагаются под наименованиями R402A/R402B\* (HP80/HP81 – DuPont), R403A/R403B\* (“Isceon” 69S/69L – Rhodia) и R408A\* (“Forane” FX10 – Atofina).

Базовым компонентом в каждом случае является R22, высокая температура нагнетания которого существенно уменьшена добавлением хлор-несодержащих веществ с низким показателем адиабатического сжатия (например, R125, R143a, R218). Характерной особенностью этих добавок является чрезвычайно высокий массовый расход, позволяющий добиваться значительного сходства смеси с R502. Для улучшения смешиваемости с традиционными холодильными маслами в R402A/B и R403A/B добавляется третий компонент – R290 (пропан), так как углеводороды обладают особенно высокими характеристиками растворимости.

В каждом случае предлагается по две разновидности этих смесей. Лабораторные измерения при оптимизации разновидностей этих смесей с целью получения холодопроизводительности, идентичной R502, показали существенно повышенную температуру

нагнетания (рис. 15), что, с учетом большого значения перегрева всасываемого газа (например, при использовании установок в супермаркетах), приводит к ограничению диапазона их применения.

С другой стороны, более высокая доля R125 или R218, способных уменьшить температуру нагнетания до уровня R502, приводит к несколько большей холодопроизводительности (рис. 16).

Совместимость материалов смесей оценивается аналогично (H)CFC хладагентам. Благодаря содержанию в смесях R22 и R290 с ними могут применяться общепринятые масла для холодильных установок (желательно синтетические или полусинтетические).

Кроме положительных аспектов, имеются и некоторые недостатки. Эти вещества могут рассматриваться как альтернативные лишь в течение ограниченного времени. Содержание R22 (хотя и низкое) означает наличие озоноразрушающего потенциала. Дополнительные компоненты R125, R143a и R218 обладают сравнительно высоким потенциалом воздействия на глобальное потепление.

\* При использовании смесей, содержащих R22, необходимо соблюдать официальные правила и нормы (см. стр. 7).

\*\* Классификация согласно номенклатуре ASHRAE

## Итоговые критерии конструирования новых установок и перевода существующих установок R502

В большинстве случаев компрессор и узлы, предназначенные для R502, могут быть оставлены в системе. Однако необходимо иметь в виду ограничения в области применения: высокая температура нагнетания, как, например, при замене R502 смесью R402B\*\*, R403A\*\* и R408A\*\* или повышенные уровни давления при замене смесью R402A\*\* и R403B\*\*.

Благодаря высокой растворимости R22 и R290 в масле существует повышенная опасность того, что после перевода установки на смесь возможные отложения хлорсодержащих продуктов разложения масел могут раствориться и проникнуть в компрессор и регулирующие устройства. Особенно подвержены риску системы, химическая стабильность которых была недостаточной еще при эксплуатации на R502 (некачественное обслуживание, малая производительность осушителей, высокая тепловая нагрузка). Поэтому перед переводом установки на смесь необходимо для очистки встроить антикислотные фильтры всасываемого газа и фильтры-осушители на жидкостной линии, а после примерно 100 часов работы сменить масло; при дальнейшей эксплуатации рекомендуется производить периодические проверки.

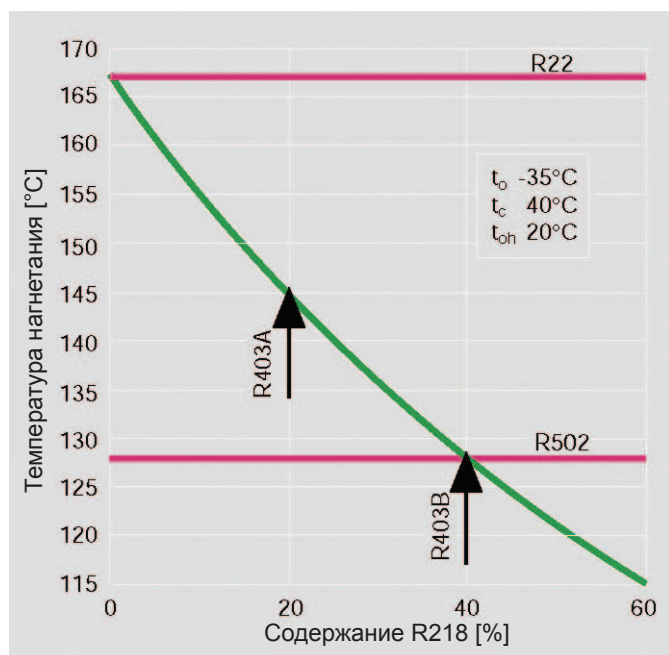


Рис. 15 Влияние изменения состава смеси на температуру нагнетания (пример: R22/R218/R290)

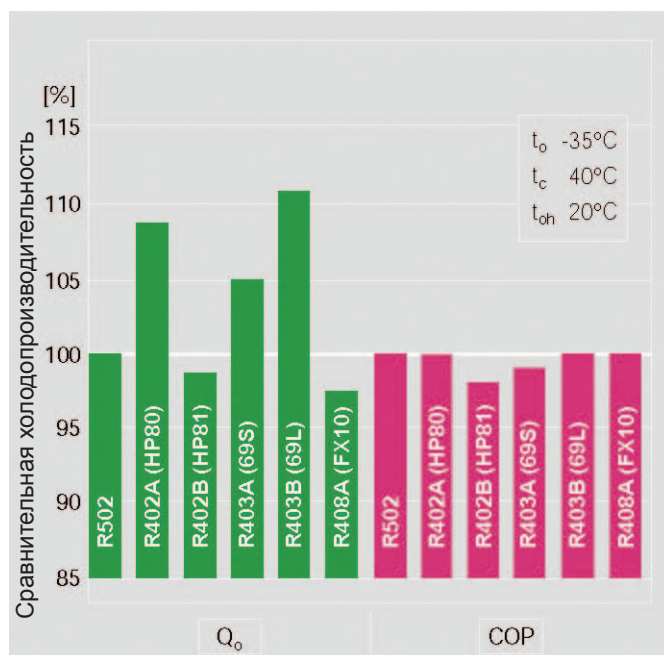


Рис. 16 Сравнение холодопроизводительности полугерметичных компрессоров

Необходимо зафиксировать рабочие условия при работе на R502 (включая температуру нагнетания и перегрев газа на всасывании), с тем, чтобы иметь возможность сравнения их со значениями после перевода. В зависимости от полученных результатов, при необходимости следует произвести перенастройку регулирующих устройств и предпринять другие дополнительные меры.

*Пригодность компрессоров BITZER уже установлена лабораторными и промышленными испытаниями. Однако, поскольку результаты перехода определяются во многом предыдущими условиями эксплуатации установки (см. пояснение выше), решение по возможным гарантийным претензиям должно выноситься только при условии успешной проверки компрессора.*

Дополнительная информация BITZER по применению ретрофитных смесей (см. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-650 “Модернизация с целью перевода работающих на R12 и R502 холодильных систем на альтернативные хладагенты”

### Промежуточные смеси как заменители R12 (R500)

Хотя, как уже показал опыт, R134a хорошо подходит и для перевода на него существующих установок, работающих на R12, применение процедуры такого “ретрофита” не всегда возможно. Не все ранее установленные компрессоры пригодны для работы на R134a. Кроме того, перевод на R134a требует возможности производить замену масла, что не подходит, например, для большинства герметичных компрессоров.

Возникают также и экономические соображения, особенно в отношении старых установок, для которых затраты на перевод на R134a сравнительно высоки. Химическая стабильность таких установок также часто недостаточна, что ставит под вопрос успешность перевода. По этой причине для таких старых установок также имеются как альтернатива R134a “промежуточные смеси”, предлагаемые под наименованиями R401A/R401B (MP39/MP66 – DuPont), R409A/B (FX56/FX57 – Atofina и Solvay).

Основными компонентами являются хладагенты R22, R124 и/или R142b на основе HCFC. В качестве третьего компонента применяется гидрофторуглерод R152a или R600a (изобутан). Благодаря основному содержанию HCFC хладагента возможна работа с применением традиционных синтетических или полусинтетических масел.

Еще одна смесь предлагается под наименованием R413A (ISCEON 49 – Rhodia). Компонентами являются хлор-несодержащие R134a, R218 и R600a. Несмотря на высокое содержание R134a, возможна работа с применением традиционных масел ввиду низкой полярности R218 и хорошей растворимости R600a. В системах с высокой скоростью циркуляции масла и/или большим объемом жидкости в ресивере может наблюдаться миграция масла. В таких случаях рекомендуется применять эфирные синтетические масла.

### Итоговые критерии конструирования новых установок и перевода существующих установок R12

Компрессоры и другие узлы в большинстве случаев могут быть оставлены в системе. Однако при использовании R413A необходимо проверить пригодность системы для компонента R134a. На практике меры по “ретрофиту” главным образом сводятся к смене хладагента (и, возможно, масла) и внимательной проверке величины перегрева настроенного в расширительном клапане. Ввиду относительно большой разности температур кипения отдельных компонентов смеси имеет место существенное температурное скольжение (рис. 33, стр. 33), из-за чего для оценки эффективного перегрева всасываемого газа требуется точное знание условий насыщения (могут быть определены по номограммам испарения, предоставляемым производителем хладагента).

Кроме того, должны соблюдаться границы области применения.

Для высоких и низких температур испарения потребуются различные типы хладагентов, либо следует принять во внимание заметные различия в холодопроизводительности (данные и области применения см. стр. 32-35). Это происходит из-за более крутой по сравнению с R12 характеристики производительности.

Ввиду высокой доли R22, особенно в низкотемпературных смесях, температура нагнетания для некоторых хладагентов существенно выше, чем для R12. Поэтому перед переводом на смесь следует проверить пределы применимости компрессора.

Остальные критерии применимости аналогичны критериям для уже рассмотренных выше заменителей R502.

### Дополнительная информация BITZER по применению ретрофитных смесей

(см. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-650 “Модернизация с целью перевода работающих на R12 и R502 холодильных систем на альтернативные хладагенты”



## R404A и R507A как заменители R502

Эти смеси являются совершенно хлор-несодержащими (ODP=0) и поэтому долгосрочными альтернативами R502.

R404A - это смесевой хладагент введен в эксплуатацию в начале 1992 г. и известен под промышленным наименованием "Suva" HP62 (DuPont). Длительное его применение показало хорошие результаты.

Другие смеси реализовывались под наименованиями "Forane" FX70 (Atofina) и "Genetron" AZ50 (Allied Signal) или "Solkane" 507 (Solvay). В номенклатуре ASHRAE хладагенты HP62 и FX70 классифицированы как R404A, а AZ50 как R507A.

Основные компоненты относятся к группе гидрофторуглеродов, причем R143a относится к категории легко-воспламеняемых. Воспламеняемость, равно как и проблемы, связанные с возможными утечками, эффективно нейтрализуется благодаря сочетанию с относительно высоким содержанием R125.

Особенностью всех трех ингредиентов является чрезвычайно низкий показатель адиабатического сжатия, что выражается в аналогичной или даже

более низкой температуре нагнетания по сравнению с R502 (рис. 17). Поэтому эффективность применения одноступенчатых компрессоров при низких температурах испарения гарантирована.

Благодаря одинаковым точкам кипения R143a и R125 и относительно малому содержанию R134a температурное скольжение трехкомпонентной смеси R404A в значимых областях применения меньше одного градуса Кельвина. Поэтому поведение этой смеси в теплообменниках мало отличается от поведения азеотропов. Полученные до настоящего времени результаты замеров показателей теплопередачи являются удовлетворительными.

R507A - двухкомпонентное сочетание, обнаруживающее азеотропное поведение в сравнительно широком диапазоне. Условия здесь склонны даже к улучшению.

Определенная по лабораторным испытаниям удельная холодопроизводительность производительность (рис. 18) почти одинакова для различных смесей и обнаруживает значительное сходство с R502. Это объясняет большой спрос на эти заменители на рынках.

Вопросы, касающиеся совместимости материалов, легко поддаются разрешению; положительная оценка объяс-

няется имеющимся опытом работы с другими гидрофторуглеродами.

С данными смесями могут применяться вновь разработанные масла POE; также исследуется пригодность различных альтернатив (см. стр. 9 и 10).

Некоторое препятствие представляет относительно высокий потенциал воздействия на глобальное потепление ( $GWP_{100} = 3260... 3300$ ), определяемый главным образом наличием R143a и R125. Однако он все же меньше, чем у R502 ( $GWP_{100} = 5600$ ), и с учетом благоприятного энергопотребления приводит к уменьшению значения TEWI. В этом отношении следует ожидать и других улучшений благодаря дальнейшему развитию систем управления холодильными системами, например, контролируемому снижению температуры конденсации при низкой температуре окружающей среды.

## Итоговые критерии проектирования

Системная технология основана на опыте работы с R502 в обширной области. С точки зрения термодинамики, рекомендуется установка теплообменника между линией всасывания и жидкостной линией, так как это улучшит холодопроизводительность и COP установки.

Доступность хладагентов гарантирована.

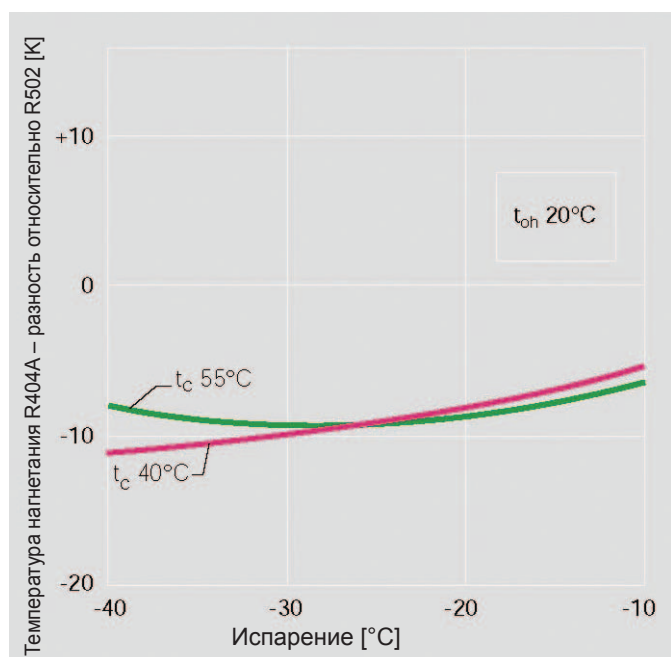


Рис.17 R404A/R502 – Сравнение температур нагнетания в полугерметичном компрессоре

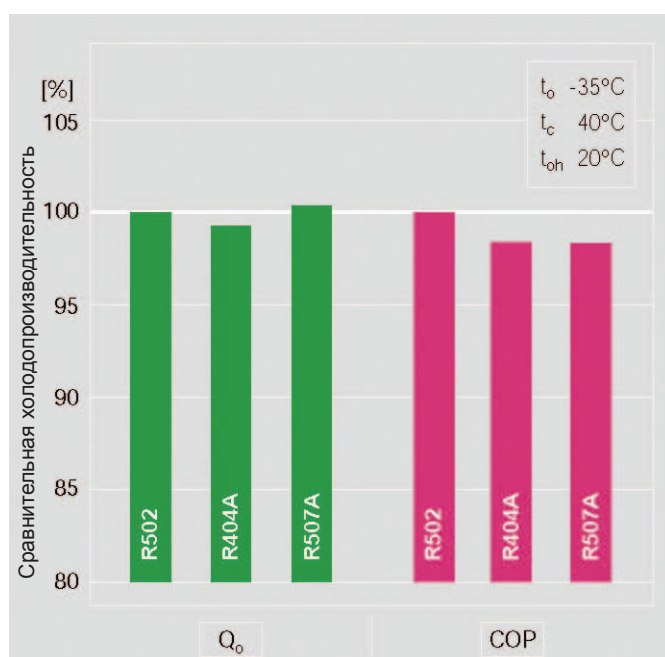


Рис.18 Сравнение холодопроизводительности полугерметичного компрессора



Кроме проведения лабораторных исследований, BITZER для получения необходимого опыта в эксплуатации в течение нескольких лет координировал широкую программу промышленных испытаний в обширной области.

BITZER предлагает для применения с этими смесями полную гамму поршневых, винтовых и спиральных компрессоров, а также подходящее масло.

### Перевод существующих установок, работающих на CFC хладагентах

Опыт, полученный в программах исследования, показывает, что адекватный переход на эти смеси возможен. Однако, в зависимости от конструкции системы, могут потребоваться значительные капиталовложения.

Дополнительная информация BITZER по применению смесей HFC (см. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-630 "Смесевые HFC хладагенты"
- Техническая информация KT-650 "Модернизация с целью перевода работающих на R12 и R502 холодильных систем на альтернативные хладагенты"
- Техническая информация KT-510 "Полиолэфирные масла для поршневых компрессоров"

### R407A и R407B как заменители R502

В качестве альтернативы ранее описанным заменителям были разработаны дополнительные разновидности смесей на основе R32, которые не содержат хлора (ODP=0) и имеют такую же воспламеняемость, как R143a.

HFC хладагент R32 первоначально рассматривался как альтернатива для R22 (стр. 19). Однако путем варьирования в смесях удалось получить также и сравнимые с R502 термодинамические характеристики.

Этот тип хладагента первоначально появился на рынке под промышленным наименованием KLEA 60/61 (ICI) и классифицировался в номенклатуре ASHRAE как R407A\*/ R407B\*.

Однако необходимые условия для альтернатив R502, содержащих R32, по сравнению с заменителями на основе R143a не столь благоприятны, как рассматривавшиеся ранее. Точка кипения R32 весьма низка (52°C), а показатель адиабатического сжатия так же высок, как и у R22. Поэтому для соответствия характеристикам R502 требуется относительно более высокое содержание R125 и R134a. Таким способом эффективно подавляется легковоспламеняемость R32. Высокое содержание R134a приводит к большему температурному скольжению.

Главным преимуществом R32 является чрезвычайно низкий потенциал воздействия на глобальное потепление (GWP100 = 650), так что даже в сочетании с R125 и R134a он остается существенно ниже, чем у вышеупомянутых основанных на R143a альтернатив.

Проведенные в лаборатории BITZER всесторонние измерения содержащих R32 смесей показывают определенное снижение производительности по сравнению с R502 в области низких температур испарения; отклонение COP незначительно (рис. 20). Значения TEWI, наряду с величиной потенциала воздействия на глобальное потепление, относительно малы.

Подтверждение этих благоприятных перспектив в реальных установках зависит от системных критериев.

Важным фактором является значительное температурное скольжение, которое может отрицательно влиять на производительность и разность температур испарения и конденсации. Для более близкого изучения этого фактора уже проведены исследования поведения теплообменников (включая их конструкции и исполнение).

Совместимость материалов смеси R32 можно оценить аналогично вышеописанным HFC заменителям; то же самое применимо и к маслам.

Несмотря на относительно высокое содержание R125 и R134a в смеси R32, вызываемое стремлением достичь характеристик R502, температура нагнетания несколько выше, чем у основанных на R143a альтернатив. В результате на область применения накладываются определенные ограничения.

С этой точки зрения, а также с точки зрения эффективности рекомендуется микропроцессорное управление для контролируемого поддержания давления конденсации при низкой температуре окружающей среды.

В низкотемпературном охлаждении весьма эффективно могут применяться 2-ступенчатые компрессоры. В связи с этим большое преимущество дает применение жидкостных переохладителей.

### Итоговые критерии разработки

Опыт работы с R502 и R22 может быть использован в данных установках на R407A и R407B во многих отношениях, учитывая температурное скольжение и разницу термодинамических свойств. Опыт в особенности применим для разработки и изготовления теплообменников и расширительных клапанов.

Хладагенты доступны. Иногда требуется индивидуальный подбор необходимых компонентов.

\* Хладагенты R407A/B только ограниченно доступны на рынке. Однако они рассмотрены в этом обзоре благодаря историческому развитию HFC смесей.

*BITZER предлагает для применения с этими смесями полный диапазон полугерметичных поршневых компрессоров, а также подходящее масло.*

## Перевод существующих установок, работающих на CFC хладагентах

Была выполнена программа всесторонних испытаний, доказавшая практическую целесообразность перевода. Однако ввиду вышеупомянутых критериев невозможно определить какие-либо общие правила. Поэтому каждый случай требует индивидуального подхода.

Дополнительная информация BITZER по применению HFC смесей (см. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-630 "Смесевые HFC хладагенты"
- Техническая информация KT-650 "Модернизация с целью перевода работающих на R12 и R502 холодильных систем на альтернативные хладагенты"
- Техническая информация KT-510 "Полиолэфирные масла для поршневых компрессоров"

## R422A (ISCEON 79) как заменитель R502

R422A (ISCEON 79 – Rhodia) был разработан с целью достижения такой же холодопроизводительности и энергетической эффективности, как у R404A и R507A, но более низкого потенциала воздействия на глобальное потепление (GWP=2530).

Это зеотропная смесь, состоящая из базовых компонентов R125 и R134a с небольшой добавкой R600a. Из-за относительно высокого содержания R134a температурное скольжение (рис. 32) выше, чем у R404A, но ниже, чем у R407A/B.

Показатель адиабаты ниже, чем у R404A и R507A, поэтому также ниже температуры масла и нагнетания. При работе на чрезвычайно низких температурах кипения это может являться преимуществом, а в случае низких степеней сжатия и перегреве всасываемого газа недостатком из-за повышенного растворения хладагента в масле.

Совместимость материалов R422A можно оценить аналогично вышеописанным смесям; то же самое применимо и к маслам.

За счет хорошей растворимости R600a при благоприятных обстоятельствах могут применяться также и общепринятые масла. Так как этот хладагент обычно применяется при низких температурах испарения, более подходящими являются масла POE, особенно для сильно разветвленных систем.

С термодинамической точки зрения рекомендуется установка теплообменника между всасывающим патрубком и жидкостной линией, что дает повышение холодопроизводительности и COP. Кроме того, это результирующее повышение рабочих температур приводит к более благоприятным условиям для масла (меньшая растворимость).

*Компрессоры Bitzer в принципе пригодны для работы на ISCEON 79. По запросу возможен индивидуальный подбор.*

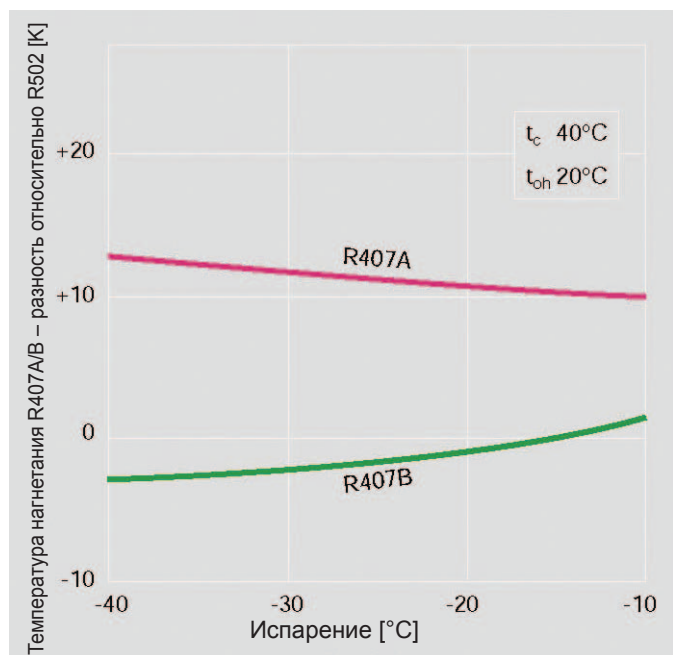


Рис.19 Сравнение температур нагнетания в полугерметичном компрессоре

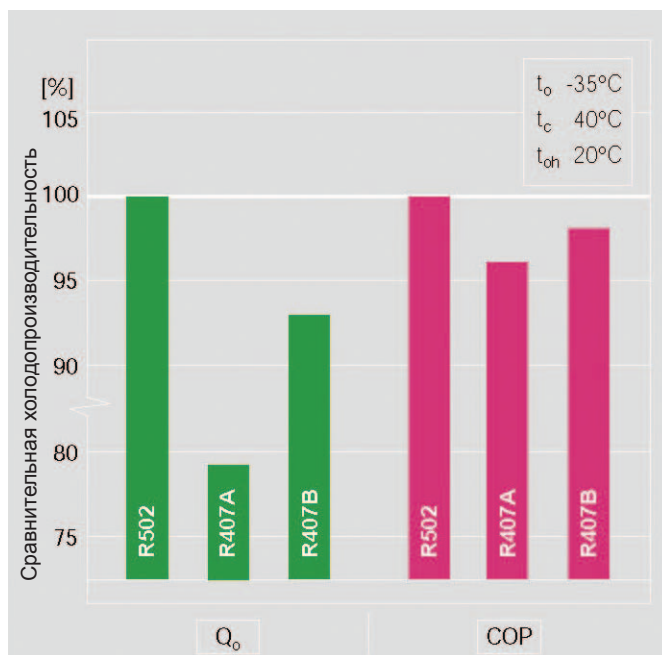


Рис.20 Сравнение холодопроизводительности полугерметичного компрессора

## Хлор-несодержащие альтернативы R22

Так как основанный HCFC хладагент R22 (ODP=0,05) продолжает оставаться широко распространенным только в качестве переходного решения, был разработан и всесторонне испытан ряд хлор-несодержащих (ODP=0) альтернатив. Они уже используются в широком диапазоне применений.

Опыт показывает, однако, что ни одна из этих альтернатив не может заменить R22 во всех отношениях. Кроме всего прочего, могут иметь место различия в удельной холодопроизводительности, ограничения возможных применений, специальные требования к проектированию систем или существенно другие уровни давлений. Поэтому рассмотрению применительно к отдельным рабочим условиям подлежат различные альтернативы.

Предпочтительными альтернативами, наряду с R134a (стр. 9), являются смеси R32/R125/R134a, R32/R125 и R125/R134a/R600. Нижеследующее описание затрагивает главным образом вопросы разработки и потенциального применения именно этих смесей. Должны быть рассмотрены также безгалоидные заменители  $\text{NH}_3$ , пропан, пропилен и  $\text{CO}_2$ , однако их применение подчиняется особым критериям (описываются, начиная со стр. 22).

## R407C как заменитель R22

Смеси фторуглеродов R32, R125 и R134a представляются предпочтительными кандидатами для краткосрочной замены R22 – их производительность и эффективность весьма схожи (рис. 21). Сначала были внедрены две смеси одного и того же состава под наименованиями AC9000 (DuPont) и KLEA66 (ICI). По номенклатуре ASHRAE они классифицируются как R407C. Вскоре появились и другие разновидности смесей (например, R407D\*/R407E) несколько иного состава, свойства которых были оптимизированы для отдельных приложений.

В отличие от заменителей R502 с идентичными компонентами смесей (см. стр. 17/18), рассматриваемые заменители R22 содержат более высокую долю R32 и R134a. Таким образом, достигается хорошее соответствие свойствам R22 в отношении уровней давления, массового расхода, плотности паров и удельной холодопроизводительности. Кроме того, сравнительно низок потенциал воздействия на глобальное потепление (GWP100 = 1520), что является хорошей предпосылкой для более благоприятных значений TEWI.

Недостатком в обычных приложениях является высокое температурное скольжение, что требует соответствующего проектирования систем и может отрицательно влиять на эффективность теплообменников (пояснения см. на стр. 12/13).

Ввиду упомянутых свойств, R407C является предпочтительным заменителем R22 в системах кондиционирования воздуха, а также (с определенными ограничениями) для среднетемпературных холодильных установок. При низкотемпературном охлаждении следует ожидать существенного падения холодопроизводительности и COP вследствие высокого содержания R134a. Существует также опасность повышения концентрации R134a в смесях в испарителях с последующим снижением холодопроизводительности и неправильной работой расширительного клапана (например, недостаточным перегревом всасываемого газа).

По отношению к совместимости материалов R407C можно оценить аналогично вышеописанным смесям; то же самое применимо и к маслам.

\* Из-за высокого содержания R134a (70%) в R407D этот хладагент следует рассматривать не как альтернативу R22, а как заменитель R12 для низкотемпературного охлаждения.

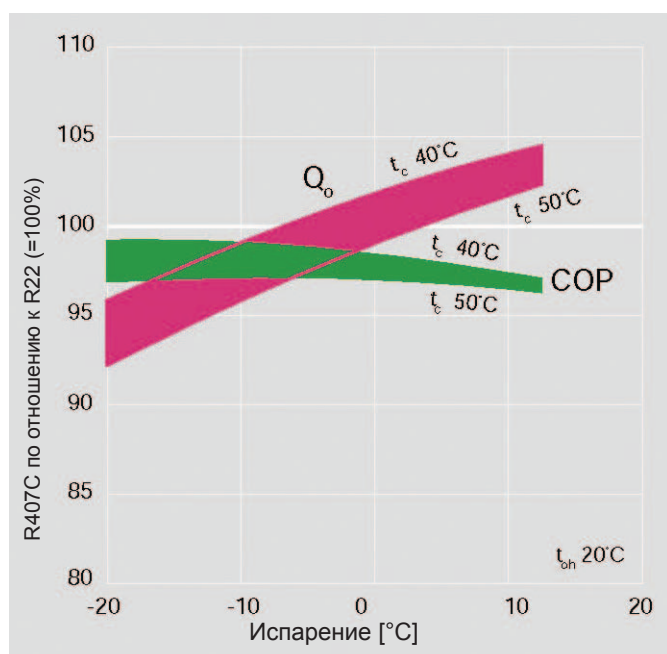


Рис.21 R407C/R22 – Сравнение холодопроизводительности полугерметичных компрессоров

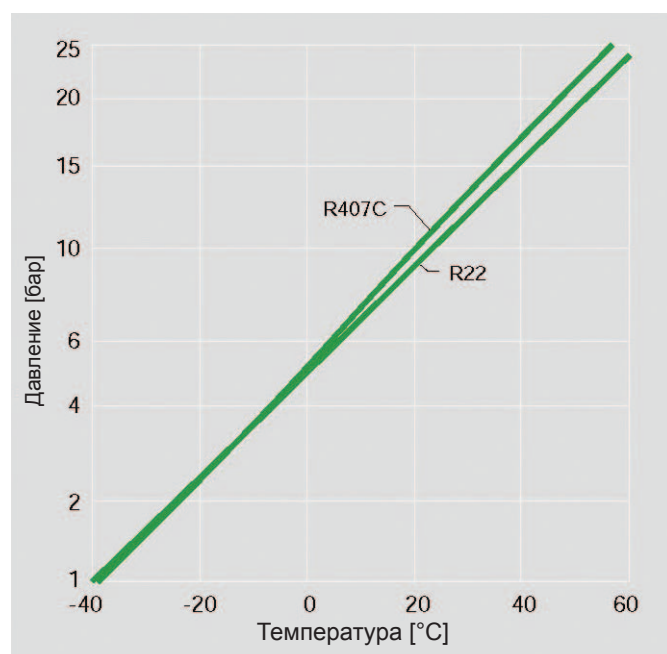


Рис.22 R407C/R22 – Сравнение уровней давления

## Итоговые критерии разработки

В технологии систем предыдущий опыт работы с R22 может использоваться лишь в ограниченной степени. Существенно иное температурное скольжение требует особого подхода к конструированию основных узлов системы, например, испарителя, конденсатора, расширительного клапана. В этом контексте следует учитывать, что теплообменники должны устанавливаться для работы в противоточном режиме и с оптимизированным распределением хладагента. Существуют также особые требования к настройке регулирующих устройств и сервисному обслуживанию.

Кроме того, не рекомендуется применение в системах с испарителями затопленного типа из-за возможного сильного изменения соотношения долей компонентов в смеси и образования слоев в испарителе.

Кроме проведения лабораторных исследований, BITZER для получения необходимого опыта в эксплуатации в течение нескольких лет координировал широкую программу промышленных испытаний в обширной области. Эти испытания уже продемонстрировали, что надежная работа компрессора целиком определяется качеством и конструкцией системы.

*BITZER может предоставить ряд поршневых, винтовых и спиральных компрессоров для применения с R407C, а также подходящее масло.*

## Перевод существующих установок, работающих на R22

В испытательных целях был осуществлен перевод ряда установок. Ввиду вышеупомянутых критериев невозможно определить какие-либо общие правила. Поэтому каждый случай требует индивидуального подхода.

## R410A как заменитель R22

Кроме R407C, имеется почти азеотропная смесь, предлагаемая под наименованием R410A по классификации ASHRAE. Она применяется в реальных системах, главным образом в установках кондиционирования воздуха.

Существенной особенностью является удельная холодопроизводительность почти на 50% выше (рис.23), чем у R22, но, вследствие этого, с пропорциональным повышением рабочих давлений в системе.

Исследования показывают предпочтительное энергопотребление при использовании при низких температурах конденсации, что дает неплохое снижение TEWI ( $GWP_{100} = 1720$ ).

Преимуществом являются также высокие коэффициенты теплопередачи (определенные в испытаниях) в испарителе и конденсаторе, что представляет собой потенциал для дальнейшего повышения эффективности. Ввиду незначительного температурного скольжения ( $< 0,2$  K), практическая применимость смеси представляется аналогичной однокомпонентным хладагентам.

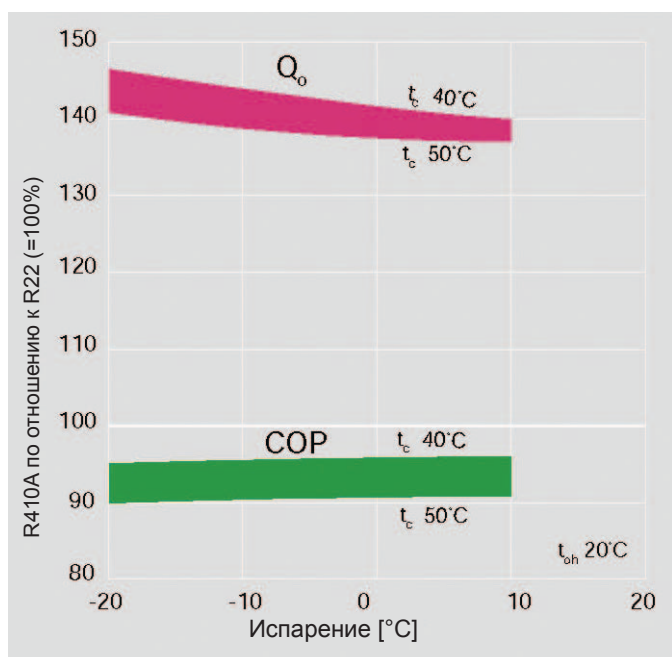


Рис.23 R410A/R22 – Сравнение холодопроизводительности полугерметичного компрессора

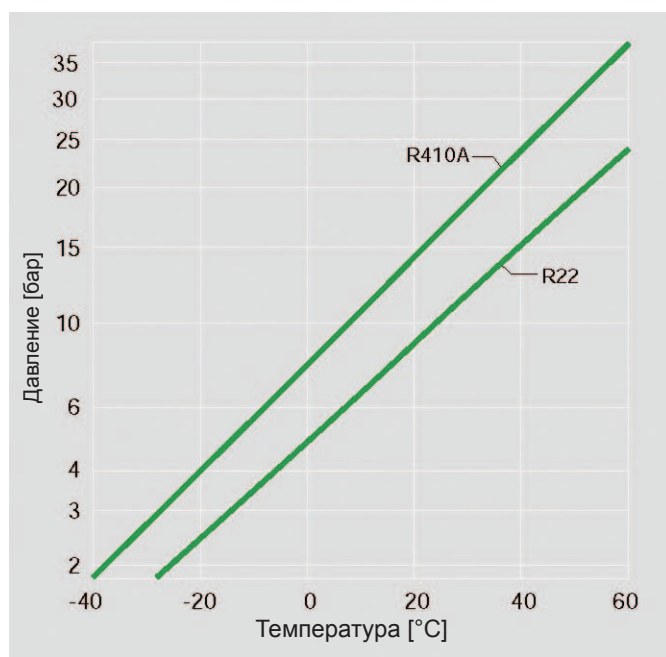


Рис.24 R410A/R22 – Сравнение уровней давления



По совместимости материалов смесь сравнима с ранее рассмотренными; то же самое можно сказать и о маслах. Однако следует учитывать уровни давления и более высокую удельную нагрузку на узлы системы.

### Итоговые критерии разработки

Базовые критерии для смесей гидрофторуглеродов применимы также к технологиям систем на R410A, с учетом, однако, чрезвычайно высоких уровней давления (температура конденсации в 43°C уже соответствует абсолютному давлению в 26 бар.).

В настоящее время доступность компрессоров и других узлов систем для этого хладагента существенно ограничена. Сказывается и результирующее влияние правил и норм безопасности.

Ввиду благоприятных свойств R410A во всем мире действуют исследовательские программы по разработке и испытанию подходящих системных узлов.

Рассчитывая охватить обычные области применения R22, следует принимать во внимание существенные различия в термодинамических свойствах (например, в массовом и объемном расходе, в плотности паров). Кроме того, высокие уровни давления для R410A могут потребовать внесения коренных изменений в конструкцию компрессора, теплообменников, органов управления, трубок и шлангов, наряду с обращением особого внимания на общие правила безопасности, регламентирующие качество и размеры шлангов и гибких элементов (для температуры конденсации около 60°C и давления 40 бар).

Другим критерием является сравнительно низкая критическая температура в 73°C. Тем самым, независимо от конструкции узлов на стороне высокого давления, существенно ограничивается температура конденсации.

*BITZER провел всесторонние исследования на R410A и может предложить в испытательных целях специально сконструированные компрессоры, а также подходящее масло для опытной эксплуатации.*

### R417A и ISCEON 29 как заменители R22

С некоторого времени на рынке предлагается другой заменитель R22 с составом R125/R134a/R600. Впервые он появился под промышленным наименованием ISCEON 59 (Rhodia), и вскоре появился в классификации ASHRAE под названием R417A.

В начале 2003 года была представлена другая разновидность смеси с тем же компонентным составом, но с другой формулой, под промышленным наименованием ISCEON 29. В рамках дальнейших разработок R600 будет, однако, заменен в будущем R600a. Согласно утверждениям производителей, этот хладагент оптимизирован для применения в жидкостных чиллерах.

Как и R407C, эти зеотропные смеси имеют существенное температурное скольжение. В этом отношении справедливы критерии, описанные для R407C.

Несмотря на аналогичную холодопроизводительность, имеются коренные различия в термодинамических свойствах и характере переноса масла по холодильному контуру. Высокое содержание R125 является причиной более высокого массового расхода, чем у R407C, более низкой температуры нагнетания и сравнительно высокой энтальпии перегрева. Эти свойства указывают на то, что могут существовать различия в оптимизации узлов системы, и установка теплообменника между жидкостной линией и линией всасывания могла бы дать некоторое преимущество.

Несмотря на преобладающее содержание гидрофторуглеродных компонентов, благодаря хорошей растворимости R600(a) в определенной степени возможно применение традиционных масел. Однако в системах с высокой скоростью циркуляции масла и/или большим объемом жидкого хладагента в ресивере может возникнуть миграция масла. В таких случаях рекомендуется применять эфирные масла.

*Компрессоры BITZER уже испытаны на R417A и в сущности пригодны также для ISCEON 29. По запросу возможен индивидуальный подбор.*

### R419A (FX90) как заменитель R22

Производитель (Atofina) предлагает этот заменитель R22 для перевода существующих систем R22 (предпочтительно установок кондиционирования воздуха), для которых требуется решение "Нулевой ODP". Этот хладагент также является смесью базовых компонентов R125 и R134a с более высоким содержанием R125 и диметилэфиром (R-E170) в качестве третьего компонента вместо бутана.

Хорошая растворимость R-E170 в минеральных и алкилбензольных маслах является благоприятным фактором, позволяющим применять эту смесь вместе с традиционными маслами. Однако следует также принимать во внимание критерии, описанные для двух смесей в предыдущей главе. Аналогичные обстоятельства применимы также и к термодинамическим свойствам с вытекающими из них следствиями.

## NH<sub>3</sub> (аммиак) как заменитель R22

Хладагент NH<sub>3</sub> в течение более чем одного столетия применялся в промышленных и крупных холодильных установках. У него нет озоноразрушающего потенциала и прямого потенциала воздействия на глобальное потепление. Его эффективность по крайней мере не меньше, чем у R22, а в некоторых применениях даже лучше; поэтому его косвенный вклад в эффект глобального потепления мал. Кроме того, его стоимость несравненно ниже. Резюмируя, можно задать вопросом: является ли он идеальным хладагентом и оптимальной заменой для R22 или альтернативой гидрофторуглеродам? Несомненно, NH<sub>3</sub> обладает многими положительными качествами, которые можно использовать также и в крупных холодильных установках.

К сожалению, имеют место и отрицательные черты, ограничивающие широкое коммерческое использование аммиака или требующие применения затратных, а иногда и новых технических решений.

Недостатком NH<sub>3</sub> является высокий адиабатический показатель ( $\text{NH}_3 = 1,31 / \text{R22} = 1,18 / \text{R12} = 1,14$ ), что отражается на температуре нагнетания, которая существенно выше, даже чем у R22. Поэтому одноступенчатое сжатие уже невозможно при работе с температурой испарения примерно в 10°C и ниже. Следует применять двухступенчатое сжатие.

Проблемой при подборе подходящих масел является также и неудовлетворительная их растворимость в хладагенте в небольших установках в некоторых применениях. Ранее применявшиеся масла не растворялись хладагентом. Они требуют отделения с помощью изоэнтальной технологии и серьезно ограничивают применение испарителей прямого расширения из-за ухудшения качества при теплопереносе.

Из-за высоких температур нагнетания особые требования предъявляются к термостабильности смазок. Это особенно критично для автоматической работы, когда масло годами должно оставаться в контуре без ухудшения своих свойств.

NH<sub>3</sub> обладает чрезвычайно высокой разностью энтальпии при фазовых переходах и в результате сравнительно малым массовым расходом при циркуляции (примерно от 13 до 15% по срав-

нению с R22). Это свойство считается преимуществом для крупных установок, но усложняет регулировку впрыска хладагента на маломощных установках.

Следующим критерием, который должен быть рассмотрен, является коррозионное воздействие на медьсодержащие материалы; поэтому трубопроводы должны быть изготовлены из стали. Помехой является также требование аммиакоустойчивости обмоток двигателей. Еще одной трудностью является электропроводность хладагента при повышенном водосодержании.

К другим отрицательным чертам можно отнести токсичность и легковоспламеняемость, требующие особых мер безопасности при сооружении и эксплуатации таких установок.

### Итоговые критерии проектирования и сооружения

При современном состоянии технологии промышленные системы на NH<sub>3</sub> требуют совершенно другой технологии монтажа и эксплуатации установок по сравнению с обычными промышленными системами.

Вследствие нерастворимости в масле и специфических характеристик хладагента обычно применяются высокоэффективные маслоотделители и испарители затопленного типа с гравитационной или принудительной циркуляцией. Из-за опасности для окружающих и охлаждаемого продукта испаритель часто не может быть установлен непосредственно в зоне охлаждения. Поэтому теплоперенос приходится осуществлять через вторичный контур хладоносителя.

При средних степенях сжатия из-за неблагоприятной тепловой характеристики должны также применяться двухступенчатые или винтовые компрессоры с крупногабаритными маслоохладителями.

Линии хладагента, теплообменники и арматура должны изготавливаться из стали; трубопроводные линии ввиду их большого размера подлежат проверке аттестованным инспектором.

В зависимости от размеров установок и объема хладагента требуются соответствующие меры безопасности, а также специальные машинные залы.

Обычно применяют холодильный компрессор открытого типа, у которого приводной двигатель является отдельным от компрессора агрегатом.

Эти меры существенно повышают затраты, связанные с установками NH<sub>3</sub>, особенно при средней и малой производительности.

Поэтому прилагаются усилия с целью разработки более простых систем, которые могли бы применяться и в коммерческой сфере.

Частью программ исследования является испытание частично растворимых смазок с целью улучшения циркуляции масла в системах. В качестве альтернативы рассматриваются также упрощенные способы автоматического возврата нерастворимых масел.

*BITZER широко участвует в этих проектах и испытывает большое количество компрессоров. Полученный до настоящего времени опыт показал, что системы с частично растворимым маслом трудны в управлении. Содержащаяся в системе вода оказывает серьезное влияние на химическую стабильность контура и износ компрессора. Кроме того, высокое содержание хладагента в масле (эксплуатация при высоком влагосодержании, недостаточная температура масла) приводит к сильному износу подшипников и других подвижных частей. Это происходит из-за сильного изменения объема при испарении NH<sub>3</sub> в зоне смазывания.*

*Эти разработки проводятся в программах широкого применения. Упор делается на альтернативные решения для нерастворимых масел.*

Кроме этого, различные производители оборудования разработали специальные испарители, в которых объем хладагента можно существенно уменьшить.

Существуют также решения с герметизацией установок NH<sub>3</sub>. Компактный жидкостный холодильник (заправка хладагента менее 50 кг) устанавливается в закрытый контейнер; аммиак при утечках поглощается встроенным водяным резервуаром. Такие компактные узлы можно устанавливать в местах, которые из-за требований безопасности ранее были зарезервированы для установок с галогеносодержащими хладагентами.

Все же еще рано выносить окончательное решение о расширенном применении компактных аммиачных систем вместо установок с галогеносодержащими хладагентами и в основном традиционной технологией. С чисто технической точки зрения и в предположении приемлемых цен, можно ожидать, что вскоре будет доступен более широкий ряд таких компактных аммиачных систем.

Производственная программа BITZER включает сегодня обширный выбор оптимизированных аммиачных компрессоров для различных типов смазок:

- Одноступенчатые поршневые компрессоры открытого типа (подача от 19 до 152 м³/ч при 1450 об/мин) для кондиционирования воздуха, для среднетемпературного охлаждения и бустер-компрессоры
- Винтовые компрессоры открытого типа (подача от 84 до 250 м³/ч – при параллельной работе до 1500 м³/ч при 2900 об/мин) для кондиционирования воздуха, средне- и низкотемпературного охлаждения.

Опции для низкотемпературного охлаждения:

- одноступенчатая эксплуатация
- экономная эксплуатация
- эксплуатация в качестве бустер-компрессора

### Перевод существующих установок

Хладагент  $\text{NH}_3$  не подходит для перевода существующих установок (H)CFC; они должны быть целиком изготовлены заново со всеми узлами.

Дополнительная информация BITZER относительно применения  $\text{NH}_3$  (см. также <http://www.bitzer.de>)

- Техническая информация KT-640 “Применение аммиака ( $\text{NH}_3$ ) в качестве альтернативного хладагента”

### R723 ( $\text{NH}_3/\text{DME}$ ) как альтернатива $\text{NH}_3$

Описанный выше опыт применения  $\text{NH}_3$  в промышленных холодильных установках с прямым испарением определил необходимость проведения дальнейших экспериментов на базе  $\text{NH}_3$  с добавками маслорастворимого компонента. Основными целями были улучшение показателей транспортировки масла по контуру и отвод тепла традиционными маслами наряду с уменьшением температуры нагнетания в широком диапазоне эксплуатации установок с одноступенчатыми компрессорами.

Результатом этого исследовательского проекта явилась смесь  $\text{NH}_3$  (60%) и диметилэфира “DME” (40%), разработанная “Institut fuer Luft- und Kaelteteknik”, Дрезден, Германия (ILK), прошедшая испытания на ряде реальных систем. Как крупный представитель ряда неорганических хладагентов, она получила обозначение R723 вследствие среднего молекулярного веса 23 кг/кмоль и в соответствии со стандартом номенклатурного обозначения хладагентов.

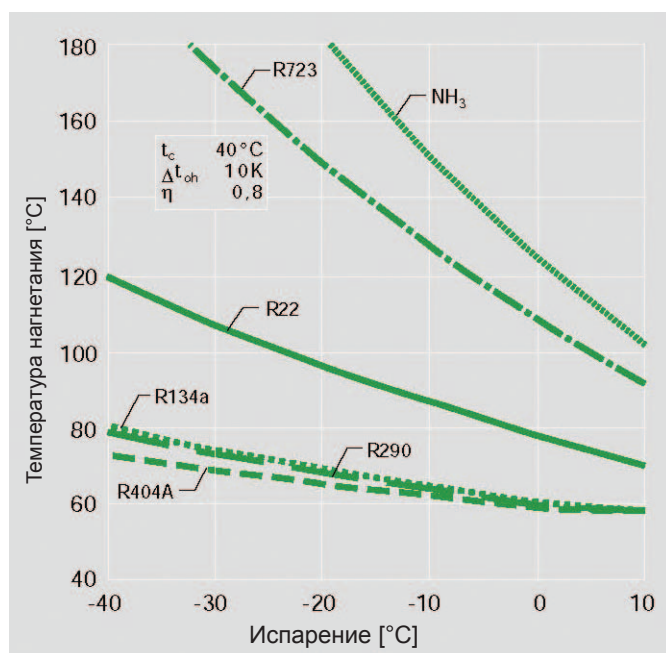


Рис.25 Сравнение температур нагнетания

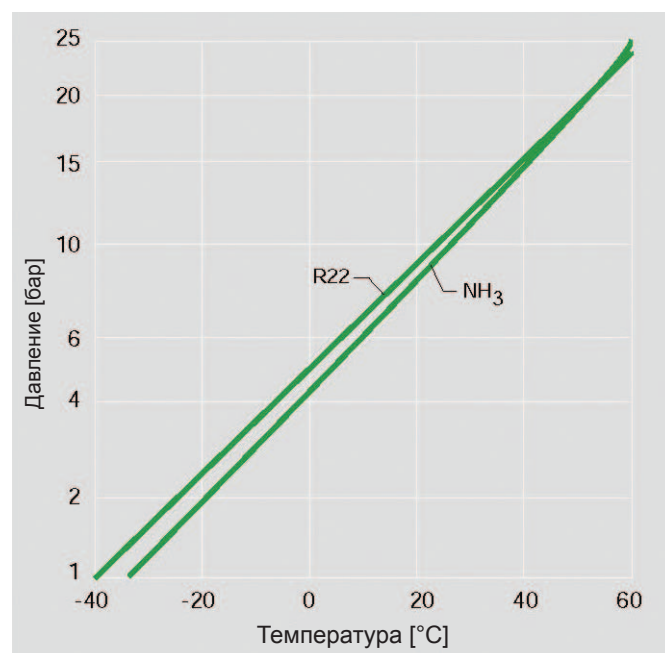


Рис.26  $\text{NH}_3/\text{R22}$  – Сравнение уровней давления



DME был выбран в качестве дополнительного компонента из-за его хорошей растворимости и высокой стабильности. Он имеет точку кипения в  $-26^{\circ}\text{C}$ , обладает относительно низким показателем адиабаты, нетоксичен и доступен в высоком техническом стандарте чистоты. В данной концентрации  $\text{NH}_3$  и DME образуют азеотропную смесь, характеризующуюся слегка повышенным уровнем давления по сравнению с чистым  $\text{NH}_3$ . Точка кипения смеси  $-36,5^{\circ}\text{C}$  (у  $\text{NH}_3$   $-33,4^{\circ}\text{C}$ ); 26 бар (абс.) давления конденсации соответствуют  $58,2^{\circ}\text{C}$  (у  $\text{NH}_3$   $59,7^{\circ}\text{C}$ ).

Температура нагнетания в системах кондиционирования воздуха и среднетемпературных холодильных установках уменьшена примерно на 10-25 К (рис. 25), что позволяет расширить область применения до более высоких степеней сжатия. По термодинамическим расчетам, по сравнению с  $\text{NH}_3$  получается повышение удельной холодопроизводительности. COP аналогичен и даже выше при более высоких степенях сжатия, что подтверждается опытами. Благодаря более низким температурам нагнетания, следует ожидать улучшенной объемной и адиабатической эффективности, по крайней мере, на поршневых компрессорах в случае повышенной степени сжатия.

Благодаря большему молекулярному весу DME, массовый расход и плотность паров повышены примерно на 50% по сравнению с  $\text{NH}_3$ , что не очень существенно для коммерческих установок, особенно с малыми контурами. В больших промышленных холодильных установках, однако, это является существенным критерием для обеспечения необходимого перепада давлений и циркуляции хладагента. С этой точки зрения также четко видна предпочтительность R723 в коммерческих приложениях, особенно в водоохлаждающих чиллерах.

По совместимости материалов смесь сравнима с  $\text{NH}_3$ . Хотя, благодаря минимальному водосодержанию в системе ( $<1000$  промилле), потенциально применимы и цветные металлы (например, медно-никелевые сплавы, бронза, твердые припои), тем не менее, рекомендуется конструкция системы, соответствующая типично аммиачной эксплуатации.

В качестве смазки могут применяться минеральные масла или (что предпочтительнее) полиальфаолефины.

Как упоминалось выше, компонент DME дает улучшение растворимости масла и частичную смешиваемость. Кроме того, сравнительно низкая плотность жидкости и повышенная концентрация DME в масле положительно влияет на циркуляцию масла. Масла PAG могли бы полностью или частично смешиваться с R723 в типичных приложениях, но они не рекомендуются по причинам, связанным с химической стабильностью и высокой растворимостью в картере компрессора (сильное парообразование в подшипниках).

Испытания показали, что коэффициент теплопередачи при испарении и удельный тепловой поток улучшаются в системах на R723 с минеральными маслами по сравнению с системами на  $\text{NH}_3$  с минеральными маслами.

Другими характеристиками являются токсичность и воспламеняемость. При содержании DME точка воспламенения в воздухе снижается с 15 до 6%, но, несмотря на это, азеотроп остается в группе опасности B2.

#### Итоговые критерии конструирования

В технологии установок может быть использован опыт, приобретенный на вышеописанных компактных системах с  $\text{NH}_3$ . Однако с учетом большего массового расхода необходима коррекция в компоновке систем. Кроме надлежащего выбора испарителя и расширительного клапана, необходимо гарантировать стабильный контроль перегрева. Вследствие улучшенной растворимости масла "влажная" эксплуатация может показывать более неблагоприятное воздействие на компрессоры по сравнению с системами на  $\text{NH}_3$  с нерастворимым маслом.

В отношении правил безопасности к установке и эксплуатации применимы те же критерии, что и к установкам на  $\text{NH}_3$ .

Подходящими являются специальные "аммиачные" варианты компрессоров, которые, возможно, придется адаптировать к условиям массового расхода и длительной циркуляции масла. Маслоотделитель для поршневых компрессоров обычно не нужен.

*Поршневые аммиачные компрессоры Bitzer в принципе пригодны для работы на R723. По запросу возможен индивидуальный подбор прототипа компрессора.*

### R290 (пропан) как заменитель R502 и R22

В качестве хладагента-заменителя может использоваться также и R290 (пропан). Поскольку это органическое вещество (углеводород), он не обладает озоноразрушающим потенциалом, а также сколько-нибудь существенным прямым воздействием на глобальное потепление. Следует принимать во внимание, однако, определенный вклад в образование летнего смога.

Уровни давления и удельная холодопроизводительность аналогичны R22/R502, а температурная характеристика столь же благоприятна, как и у R12 и R502.

Каких-либо частных проблем с материалами не существует. В отличие от аммиака применимы также и медные материалы, поэтому возможно его использование с герметичными и полугерметичными компрессорами. В широком диапазоне эксплуатации применимы минеральные масла, обычно используемые в системах на CFC.

Холодильные установки на R290 уже долгое время используются во всем мире, главным образом в промышленной области - это проверенный хладагент.

R290 применяется также в небольших компактных системах с малым объемом хладагента, таких как бытовые кондиционеры и тепловые насосы. Наблюдается также растущее применение его в коммерческих холодильных системах и холодильниках.

Пропан предлагается также в виде смеси с изобутаном (R600a) или этаном (R170). Это должно давать хорошее соответствие галогенуглеродным хладагентам по производительности. Чистый изобутан предназначенся главным образом как заменитель R12 в малых установках (предпочтительно домашних холодильниках).

Недостатком углеводородов является легковоспламеняемость, поэтому они отнесены к категории опасности A3. При обычном объеме хладагента, применяемом в коммерческих установках, это означает, что эти системы должны проектироваться согласно правилам пожаровзрывобезопасности.



Применение полугерметичных компрессоров в так называемых "герметически уплотненных" системах в этом случае подчиняется правилам для зон опасности категории 2 (зоны редкого и кратковременного риска). Требования к технике безопасности предусматривают специальные устройства для защиты от чрезмерных давлений и специальные меры безопасности в электрических системах. Дополнительно требуются меры для гарантии безопасной вентиляции с целью предотвращения образования пожаровзрывоопасных смесей в случае утечек хладагента.

Конструктивные требования определяются стандартами (например, EN378, Draft DIN 7003) и могут различаться в разных странах. Для применяемых на территории ЕС систем может также потребоваться экспертиза согласно Директиве ЕС 76/117/ЕС (ATEX 100a).

Для компрессоров открытого типа это, возможно, приведет к классифицированию зоны опасности по категории 1. Зона опасности категории 1 требует специального взрывобезопасного исполнения электрооборудования.

## Итоговые критерии конструирования

Пропановые установки не требуют, по сравнению с обычными системами на (H)CFC и HFC, никаких специальных мер, кроме вышеупомянутых, в средне- и низкотемпературных применениях. При выборе размеров узлов следует, однако, принять во внимание

относительно низкий массовый расход (примерно 55-60% по сравнению с R22). Преимуществом в связи с этим является возможность существенного уменьшения количества заправляемого в установку хладагента.

С точки зрения термодинамики, рекомендуется установка внутреннего теплообменника между линией всасывания и жидкостной линией, так как это повысит удельную холодопроизводительность и COP.

Из-за чрезвычайно хорошей растворимости в минеральных маслах, при повышенных давлениях всасывания (кондиционирование воздуха) может потребоваться использовать масло с пониженной смешиваемостью или повышенной вязкостью.

Внутренний теплообменник дает преимущество также и в этом отношении, так как его установка приводит к повышению температуры масла и понижению растворимости в нём хладагента, а в результате - к повышению его вязкости.

Ввиду весьма благоприятной температурной характеристики (рис. 25) вплоть до температур испарения около  $-40^{\circ}\text{C}$  в установках с R290 могут применяться одноступенчатые компрессоры. R290 может поэтому рассматриваться и как прямой заменитель R502 или альтернатива для некоторых гидрофторуглеродных смесей.

Для R290 доступна по запросу целая палитра поршневых компрессоров полугерметичного типа. При инди-

видуальных требованиях предлагаются специально оборудованные компрессоры. Буква "P" в обозначении компрессора, например, 4CC-9.2P, означает в запросах и заказах, что компрессор предназначен для работы на R290. Исполнение заказа включает в себя отдельное соглашение между партнерами по контракту.

Для R290 доступны также поршневые компрессоры открытого типа, наряду с всесторонней гаммой пожаровзрывобезопасного дополнительного оборудования, которые могут потребоваться.

## Перевод существующих установок, работающих на CFC

Так как для установки на R290 требуется принятие мер пожаровзрывобезопасности, может оказаться, что перевод существующих установок целесообразен лишь в исключительных случаях.

Перевод ограничивается системами, которые с приемлемыми затратами могут быть модифицированы так, чтобы отвечать соответствующим требованиям безопасности.

## Дополнительная информация BITZER по использованию R290

- Техническая информация КТ-660 "Применение пропана в поршневых полугерметичных компрессорах"

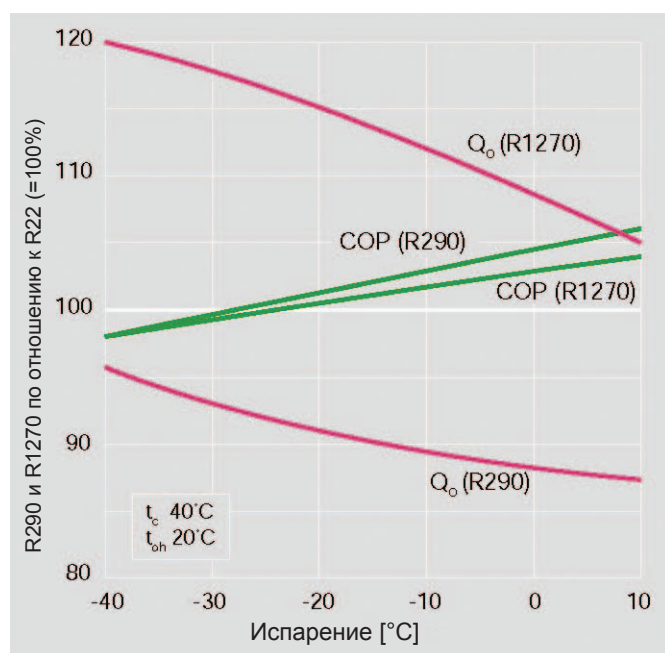


Рис.27 R290/R1270/R22 – Сравнение холодопроизводительности полугерметичных компрессоров

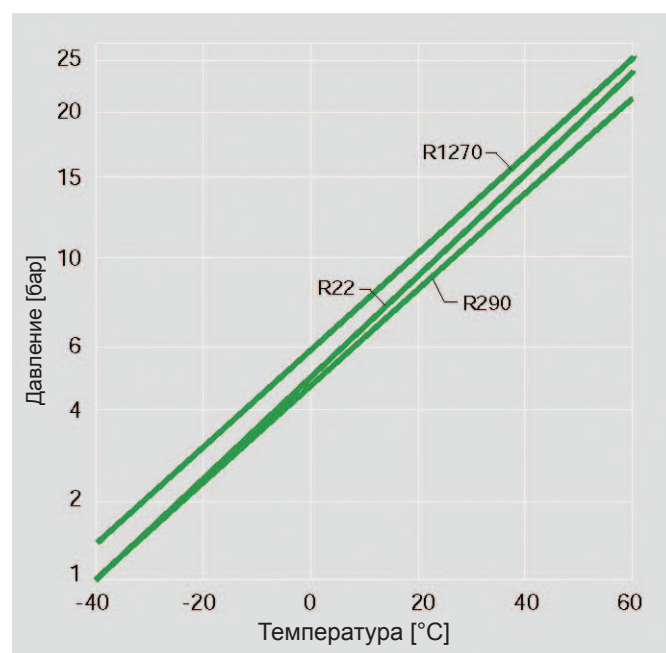


Рис.28 R290/R1270/R22 – Сравнение уровней давления

## Пропилен (R1270) как альтернатива пропану

В течение некоторого времени наблюдается повышенный интерес к применению пропилена (пропена) в качестве заменителя R22/R502. Благодаря его более высокой удельной холодопроизводительности и более низкой температуре кипения (по сравнению с R290) особый интерес представляет его применение в средне- и низкотемпературных системах, например, чиллерах для супермаркетов. С другой стороны, следует учитывать повышенные уровни давления (>20%) и температуру нагнетания, что ограничивает диапазон возможных применений.

По совместимости материалов, как и по выбору масел, пропилен сравним с пропаном.

Пропилен так же легковоспламеняем и относится к группе A3 по пожароопасности. Поэтому при его применении должны соблюдаться те же меры безопасности, что и для пропана (стр. 23).

Благодаря двойной химической связи пропилен легко вступает в реакции, что означает наличие опасности полимеризации при высоких давлениях и температурах. Испытания, проведенные производителями углеводородов, и тесты стабильности в реальных приложениях показывают, что химическая активность в системах охлаждения практически отсутствует. Изредка в литературе высказывались также опасения по поводу возможной канцерогенности пропилена. Эти предположения были опровергнуты надлежащими исследованиями.

## Итоговые критерии конструирования

В технологии пропиленовых систем может широко использоваться опыт эксплуатации систем на пропане. Габариты узлов, однако, следует изменить ввиду более высокой удельной холодопроизводительности (рис. 27). Соответственно, требуется более низкая объемная производительность компрессора, поэтому меньше также объемные расходы всасываемого и нагнетаемого газа. Ввиду высокой плотности паров массовый расход почти такой же, как и для R290. Поскольку плотность жидкости почти равна плотности R290, то же самое имеет место и в отношении объема циркулирующей жидкости.

Как и в случае R290, применение внутреннего теплообменника между всасыванием и жидкостной линией дает преимущество. Однако ввиду более высокой температуры нагнетания R1270 имеют место частичные ограничения.

*BITZER провел серию исследований на R1270. Кроме того, имеется опыт эксплуатации реальных установок. По запросу возможен индивидуальный подбор.*

## Двуокись углерода R744 (CO<sub>2</sub>) как альтернативный хладагент и вторичный хладоноситель

Традиции применения CO<sub>2</sub> в холодильной технике уходят далеко в 19-й век. У него нет озоноразрушающего потенциала, незначителен прямой потенциал воздействия на глобальное потепление (GWP = 1), он химически инертен, негорюч и нетоксичен в классическом понимании. Однако следует учесть более низкое по сравнению с гидрофторуглеродами предельно-допустимое содержание его в воздухе. Для замкнутых помещений это может потребовать применения специальных систем безопасности и слежения.

CO<sub>2</sub> также дешевле и нет необходимости в его восстановлении и утилизации. Кроме того, он обладает очень высокой удельной холодопроизводительностью, примерно в 5-8 раз превышая в этом отношении R22 и NH<sub>3</sub>.

Важной причиной его первоначальной широкой распространенности явились, прежде всего, его существенные для безопасности свойства. После введения положения "Безопасные хладагенты" CO<sub>2</sub> стал менее популярен и после пятидесяти лет практически исчез с рынка.

Основными причинами этого являются относительно неблагоприятные для обычных применений в холодильных и кондиционирующих установках термодинамические характеристики. Давление нагнетания CO<sub>2</sub> чрезвычайно высоко, а критическая температура в 31°C (при 74 бар) слишком низка. В зависимости от температуры источника тепла на стороне высокого давления требуется работа в сверхкритическом режиме при давлениях выше 100 бар. Кроме того, энергетическая эффективность часто ниже по сравнению с классическим процессом сжатия паров (с конденсацией), и поэтому соответственно выше косвенное воздействие на эффект глобального потепления.

Тем не менее, с экологической точки зрения, в установках с потенциально высокой интенсивностью утечек может возникнуть благоприятный баланс (низкий TEWI). Это имеет место, например, в случае кондиционирования

воздуха на транспорте, благодаря отсутствию, по сравнению с прежними технологиями, связанных с экономичностью недостатков. Хотя в этой области проведены обширные исследования и разработки, общепринятые технические и экологические оценки в настоящее время отсутствуют.

Другими потенциальными применением, в которых сверхкритические процессы могут быть даже полезны, являются, например, тепловые насосы для горячей воды в коммунально-бытовом водоснабжении или в технологических процессах осушения. Температурное скольжение может быть выгодно использовано при обычно высоком температурном перепаде на стороне высокого давления. Тепловые насосы для коммунально-бытового водоснабжения уже пошли в массовое производство и широко применяются.

С точки зрения энергетической эффективности и уровней давления значительно более выгодные применения можно найти в промышленных и крупных коммерческих холодильных установках. В них  $\text{CO}_2$  может использоваться как в качестве вторичного хладоносителя среднетемпературной ветви нижнего каскада в каскадных установках, так и в качестве хладагента в низкотемпературной ветви нижнего каскада в сочетании со следующей бустерной подкачкой в каскадных установках (рис. 30/1). Рабочие условия всегда являются докритическими, что

гарантирует хороший уровень эффективности. В наиболее предпочтительном диапазоне применения (примерно от  $-10$  до  $-50^\circ\text{C}$ ) давления остаются на уровне, к которому уже существующие или находящиеся в разработке узлы, например для R410A, могут быть адаптированы с приемлемыми затратами.

### Итоговые критерии разработки

На высокотемпературной стороне такой каскадной системы может быть использован компактный узел охлаждения, испаритель которого выполняет на другой стороне роль конденсора  $\text{CO}_2$ . Подходящими являются хлор-не содержащие хладагенты ( $\text{NH}_3$ , углеводороды или гидрофторуглероды).

Межкаскадный теплообменник в случае применения  $\text{NH}_3$  должен быть спроектирован так, чтобы предотвратить нарастание опасного карбоната аммония в случае утечек. Эта технология долгое время применялась на пивоваренных заводах.

Вторичный контур для крупных установок на  $\text{CO}_2$  мог бы быть сконструирован с использованием тех же принципов систем принудительной циркуляции низкого давления, которые часто применялись на установках  $\text{NH}_3$ . При этом имеет место существенная разница, состоящая в том, что конденсация  $\text{CO}_2$  происходит в межкаскадном теплообменнике, и приемный ресивер (аккумулятор) служит

только в качестве питающей емкости.

Чрезвычайно высокая удельная холодопроизводительность  $\text{CO}_2$  (скрытая теплота фазовых переходов) определяет очень малый массовый расход этого хладагента. Это позволяет применять трубопроводы малого сечения, а также минимизировать потребляемую мощность циркуляционных насосов.

Для сопряжения со следующей ступенью сжатия, например для низких температур, существуют различные решения.

На рис. 30/1 показан вариант с дополнительным ресивером, в котором один или более бустер-компрессоров доводят давление до необходимого для испарения. Нагнетаемый газ подается в межкаскадный теплообменник-охладитель, конденсируется и затем переводится в ресивер (MT). Питание ресивера низкого давления (LT) осуществляется с помощью устройства контроля уровня.

Вместо классической принудительной насосной циркуляции бустерная ступень может быть встроена в качестве так называемой LPR- системы.

Циркуляционный насос, таким образом, не нужен, но количество испарителей ограничивается с целью равномерного распределения впрыснутого  $\text{CO}_2$ .

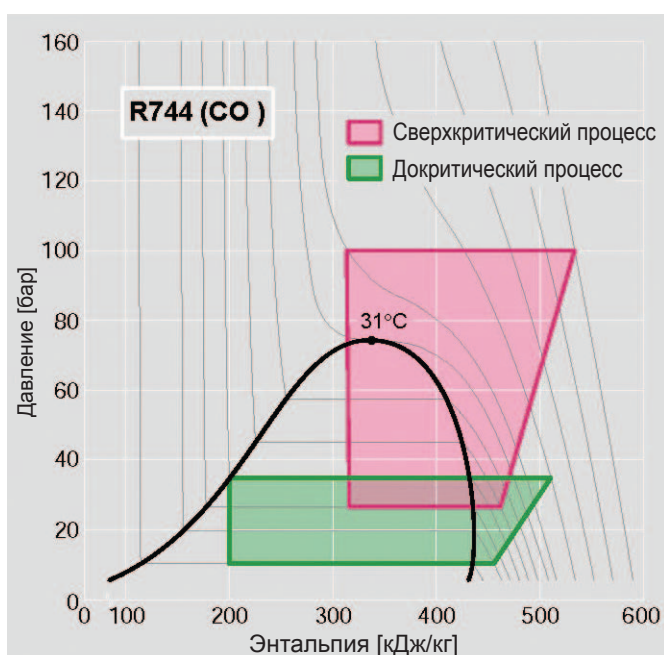


Рис.29/1 R744(CO<sub>2</sub>) – Диаграмма давление-энтальпия

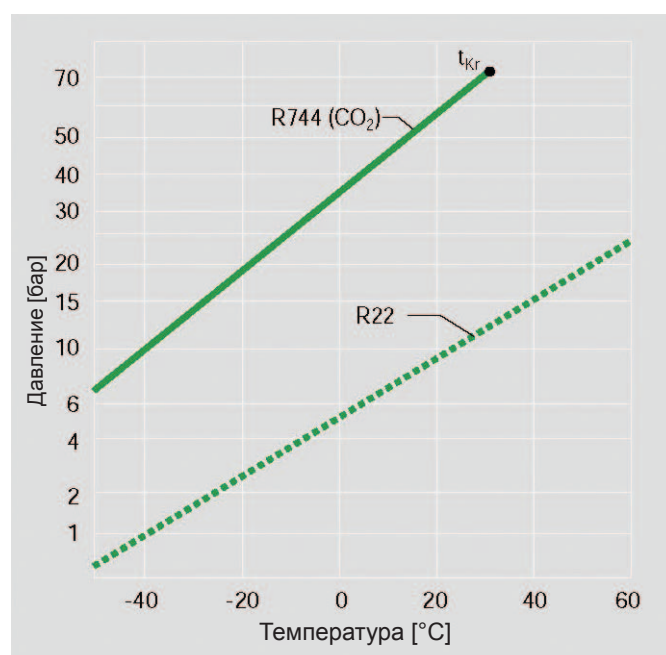


Рис.29/2 R744(CO<sub>2</sub>)/R22 – Сравнение уровней давления



В случае аварии в системе, при которой может произойти сильное повышение давления, предохранительные клапаны могут с необходимыми предосторожностями стравливать  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

В качестве альтернативы в установках, где возможны длительные периоды простоев, используются абсорбционные системы накопления  $\text{CO}_2$ . Эти системы не допускают критического повышения давления в контуре.

Для систем коммерческого применения возможен также вариант прямого расширения.

Установки в супермаркетах с их обычно сильно разветвленной трубопроводной системой обладают в этом отношении особенно хорошими возможностями. Среднетемпературная система сооружается в традиционном исполнении или с вторичным контуром, а для низкотемпературного применения комбинируется с каскадной системой  $\text{CO}_2$  (для докритической работы). Пример системы показан на рис. 30/2.

В большинстве применений, однако, не все требования могут быть удовлетворены в настоящее время. Имеет смысл полагать, что технологии сис-

тем во многих отношениях изменяются, и для удовлетворения требований необходимы специально приспособленные узлы.

Компрессоры, например, должны проектироваться надлежащим образом из-за высокой плотности паров и уровня давления (особенно на стороне всасывания). Существуют также специфические требования к материалам. Кроме того, должен использоваться только  $\text{CO}_2$  с высокой степенью обезвоживания.

Высокие требования предъявляются также и к маслам. Традиционные масла, как правило, не смешиваются с  $\text{CO}_2$  и поэтому требуют принятия высокочрезвычайных мер по их возврату из системы в компрессор. С другой стороны, необходимо принять во внимание сильное снижение вязкости при применении смешиваемых с  $\text{CO}_2$  и высокорастворимых POE масел. Кроме того, недостаточно данных о долгосрочной стабильности недавно разработанных новых масел.

Необходимы дальнейшие опытно-конструкторские работы, в том числе и в отношении адаптации технических стандартов и требований безопасности.

*BITZER активно участвует в ряде проектов. Для докритических приложений могут быть предложены специально разработанные компрессоры, включая подходящее масло.*

## Дополнительная информация BITZER по подбору компрессоров и применению $\text{CO}_2$

- Брошюра KP-120: Компрессоры  $\text{CO}_2$  – серия Octagon K
- Документ: Винтовые и поршневые компрессоры полугерметичного типа для каскадных систем  $\text{CO}_2$

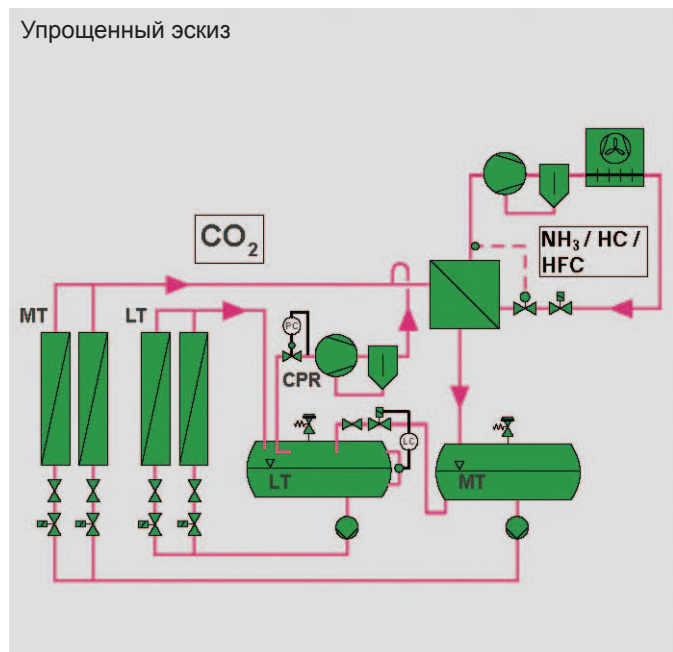


Рис.30/1 Каскадная система на  $\text{CO}_2$  для промышленного применения

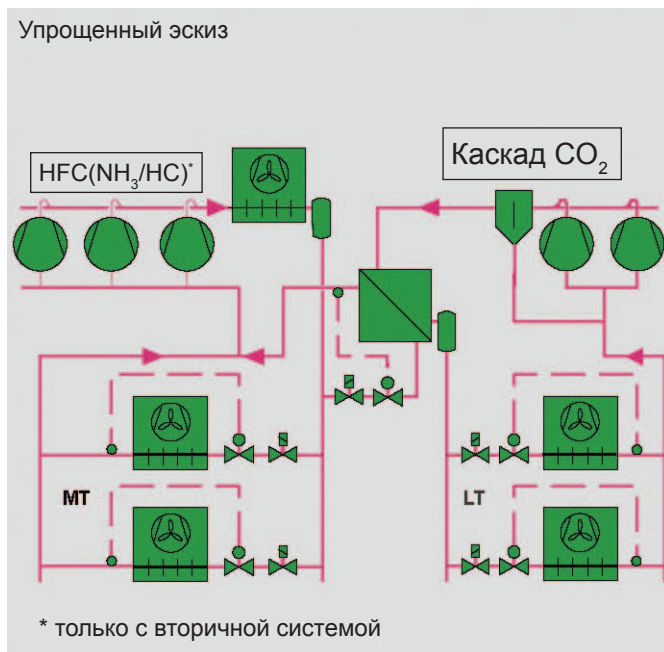


Рис.30/2 Традиционная холодильная система, скомбинированная с низкотемпературным каскадом  $\text{CO}_2$



## R124 и R142b как заменители R114 и R12B1

Вместо хладагентов R114 и R12B1, преобладавших в прошлом в высокотемпературных тепловых насосах и крановых кондиционерах, в новых установках в качестве альтернативы могут применяться R124 и R142b.

С этими газами можно применять испытанные временем масла, желательны минеральные или алкилбензолы с высокой вязкостью.

Ввиду наличия озоноразрушающего потенциала, применение этих хладагентов непременно должно рассматриваться только в качестве временной меры. Следует учитывать также воспламеняемость R142b с соответствующим распространением на него требований безопасности (хладагент категории пожароопасности A2).

### Итоговые критерии проектирования новых и ретрофита существующих установок

По сравнению с R114 температуры кипения альтернатив ниже (около  $-10^{\circ}\text{C}$ ), что выражается в большем перепаде давлений и большей удельной холодопроизводительности. Это, с учетом высоких температур испарения и конденсации, приводит к большим ограничениям в области применения.

Ретрофит существующих установок в большинстве случаев влечет за собой замену компрессора и регулирующих устройств. Вследствие меньшего объемного расхода (более высокая удельная холодопроизводительность) могут потребоваться изменения в испарителе и линии всасывания.

Компрессоры BITZER показали за предыдущие годы хорошее соответствие R124 и R142b в действующих установках. Однако требуется внесение изменений в зависимости от технических данных и типа компрессора. Технические данные, включая другие сведения по конструкции, предоставляются по запросу.

## Бесхлорные заменители для специальных приложений

Вследствие ограниченности рынка систем для чрезвычайно высоко- и низкотемпературных применений потребность в разработке альтернативных хладагентов и узлов в этой области не столь велика.

Всего лишь несколько лет назад в качестве заменителей для CFC хладагентов R114 и Halon R12B1 (высокие температуры), R13B1, R13 и R503 (чрезвычайно низкие температуры) была предложена группа альтернатив. При ближайшем рассмотрении было установлено, что термодинамические свойства альтернатив существенно отличаются от свойств применявшихся до этого веществ. Это может потребовать внесения дорогостоящих изменений, особенно при ретрофите существующих систем.

### Альтернативы для R114 и R12B1

В настоящее время в качестве предпочтительных альтернатив рассматриваются R227ea и R236fa, при этом доступность R236fa частично ограничена.

R227ea не может считаться полным заменителем. Недавние исследования и промышленные испытания показали благоприятные результаты, но

при обычной технологии систем критическая температура в  $102^{\circ}\text{C}$  ограничивает температуры конденсации до значений в интервале  $85..90^{\circ}\text{C}$ .

R236fa предлагает более благоприятные условия, по меньшей мере в этом отношении – его критическая температура выше  $120^{\circ}\text{C}$ . Недостатком, однако, является меньшая удельная холодопроизводительность. Она аналогична R114 и вместе с тем на 40% ниже удельной холодопроизводительности R124, широко применяемого в настоящее время в высокотемпературных применениях.

Там, где правила безопасности позволяют использовать углеводороды (группа пожароопасности A3), может представить интерес хладагент R600a (изобутан). При критической температуре  $135^{\circ}\text{C}$  достижимы температуры конденсации в  $100^{\circ}\text{C}$  и выше.

По удельной холодопроизводительности он почти идентичен R124.

### Альтернативы для R13B1

Кроме R410A, в качестве потенциальных заменителей R13B1 можно рассматривать Forane FX80 (Atofina) и ISCEON 89 (Rhodia). Применяя R410A, приходится учитывать существенно более высокую температуру нагнетания по сравнению с R13B1, что в большей мере ограничивает диапазон применения даже в системах с 2-ступенчатым сжатием.

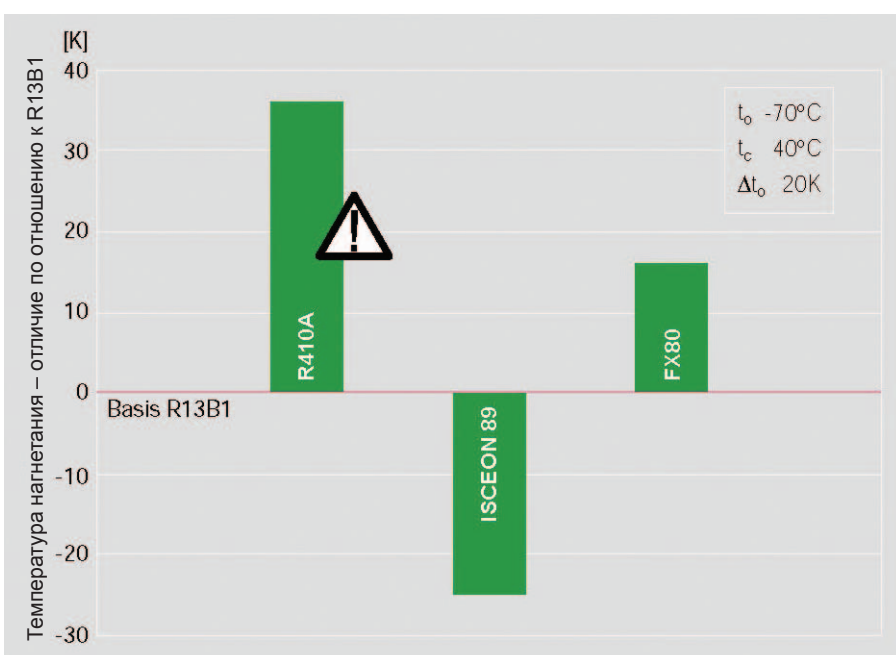


Рис.31 Альтернативы R13B1/HFC – Сравнение температур нагнетания для 2х-ступенчатого компрессора

FX 80 представляет собой, как и R410A, смесь R32 и R125, но с более высокой долей R125. Помимо прочего, это приводит к повышению плотности паров и понижению температуры нагнетания, что может представлять собой преимущество, в зависимости от конструкции компрессора и применения.

ISCEON 89 является смесью R125 и R218 с малой добавкой R290. Благодаря свойствам двух основных компонентов, плотность и массовый расход сравнительно высоки, а температура нагнетания весьма низкая. Частичное преимущество может дать переохладение жидкости.

Все вышеупомянутые типы имеют сравнительно высокие температурные уровни и поэтому температура их конденсации ограничена величинами от 40 до 45°C. Они также имеют меньшую по сравнению с R13B1 удельную холодопроизводительность при температурах испарения ниже -60°C.

Кроме того, крутое падение давления ограничивает применение при очень низких температурах и может потребовать перехода на каскадную систему с применением, например, R23, в низкотемпературном каскаде.

Совместимость материалов и масел схоже с другими гидрофторуглеродным смесям.

#### Альтернативы для R13 и R503

Ситуация с этими веществами более благоприятна, так как R23 и R508A/R508B уже могут заменить R13 и R503. Пригоден также хладагент R170 (этан), если правила безопасности позволяют использовать пожароопасные углеводороды (категория A3).

Из-за более крутой кривой давления альтернативных хладагентов и более высокой температуры нагнетания R23 по сравнению с R13 следует учитывать различия в удельной холодопроизводительности и областях применения компрессоров. Необходима также

индивидуальная адаптация теплообменников и устройств управления.

Для R23 и R508A/B подходят полиолэфирные масла, при условии, что они отвечают особым требованиям для очень низких температур.

R170 хорошо растворим также в традиционных маслах, однако требуется их адаптация к очень низкотемпературным условиям.

*BITZER уже провел исследования и накопил опыт работы с несколькими из вышеупомянутых заменителей; технические данные и инструкции предоставляются по запросу.*

*Из-за индивидуальности технологий систем для этих специальных установок необходима консультация с BITZER.*



Тип хладагента	Состав (формула)	Заменитель для	Диапазон при- менения	ODP [R11=1,0]	GWP <sup>(100)</sup> ④ [CO2=1,0]	Катег. опасности ⑤	ПДК -практич. предел [кг/м3] ⑥		
HCFC хладагенты									
R22 R124 R142b	CHClF <sub>2</sub> CHClFCF <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	R502 (R12 ①) R114 ①, R12B1	см. стр. 34	0,05 0,02 0,06	1500 470 1800	A1 A1 A1	0,3 0,11 0,049		
Промежуточные HFCFC/HFC смеси (переходные альтернативы)									
R401A R401B R409A R409B R413A	R22/152a/124 R22/152a/124 R22/142b/124 R22/142b/124 R134a/218/600a	R12 (R500)  R500 R12 (R500)	см. стр. 34	0,03 0,035 0,05 0,05 0	970 1060 1290 1270 1770	A1/A1 A1/A1 A1/A1 A1/A1 A1/A2	0,3 0,34 0,16 0,17 0,08		
R402A R402B R403A R403B R408A	R22/125/290 R22/125/290 R22/218/290 R22/218/290 R22/143a/125	R502		0,02 0,03 0,04 0,03 0,026	2250 1960 2520 3570 2650	A1/A1 A1/A1 A1/A1 A1/A1 A1/A1	0,33 0,32 0,33 0,41 0,41		
Хлор-несодержащие HFC хладагенты (долгосрочные альтернативы)									
R134a R152a R125 R143a R32	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	R12 (R22 ①) используется глав- ным образом как компонент смесей		см. стр. 34	0	1300 140 2800 3800 650	A1 A2 A1 A2 A2	0,25 0,027 0,39 0,048 0,054	
R227ea R236fa	CF <sub>3</sub> -CHF-CF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>	R12B1, R114 ① R114				2900 6300	A1 A1	н/д 0,59	
R23	CHF <sub>3</sub>	R13 (R503)				11700	A1	0,68	
Хлор-несодержащие HFC смеси (долгосрочные альтернативы)									
R404A R507A R407A R407B R422A	R143a/125/134a R143a/125 R32/125/134a R32/125/134a R125/134a/600a	R502	см. стр. 34	0	3260 3300 1770 2280 2530	A1/A1 A1 A1/A1 A1/A1 A1/A1	0,48 0,52 0,33 0,35 0,5		
R407C R417A R419A ISCEON 29	R32/125/134a R125/134a/600 R125/134a/R-E170 R125/134a/600a	R22			1525 1950 2400 2230	A1/A1 A1/A1 A1/A2 A1/A1	0,31 0,15 н/д 0,35		
R410A	R32/125	R22 ① R13B1 ②			1725	A1/A1	0,44		
FX80	R32/125	R13B1 ②			2360	н/д	н/д		
ISCEON 89	R125/218/290	R13B1 ②			3090	н/д	н/д		
R508A R508B	R23/116 R23/116	R503			11860 11850	A1/A1 A1/A1	0,23 0,2		
Безгалогидные хладагенты (долгосрочные альтернативы)									
R717 R723 R600a ③ R290 R1270	NH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> /R-E170 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	R22 (R502) R22 (502) R114, R12B1 R22 (R502) R22 (R502)			см. стр. 35	0	0 8 3 3 3	B2 B2 A3 A3 A3	0,00035 н/д 0,011 0,008 0,008
R170	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	R13, R503					3	A3	0,008
R744	CO <sub>2</sub>	Другие					1	A1	0,07

Рис.32 Характеристики альтернатив (продолжение на рис. 33)

Данные утверждения верны с оговорками; они основаны на информации, опубликованной производителями различных хладагентов.

- ① Альтернативный хладагент имеет большее отклонение в холодильной способности и давлении
- ② Альтернативный хладагент имеет большее отклонение ниже температуры конденсации - 60°C
- ③ Предлагается также как компонент в смесях R290/600a (прямая альтернатива R12)
- ④ Временной горизонт 100 лет – согласно IPCC II (1996) и опубликованным производителями данным
- ⑤ Классификация согласно EN378-1 и ASHRAE 34
- ⑥ Согласно EN 378-1, Приложение E
- н/д - данные пока недоступны



Тип хладагента	Температура кипения [°C] ①	Температурное скольжение [K] ②	Критическая температура [°C] ①	Температура конденсации при 26 бар (абс) [°C] ①	Холодопроизводительность [%] ③	COP [%]	Температура нагнетания [K] ③	Масло (компрессор)
Хладагенты HCFC								см. стр. 35
R22	-41	0	96	63	80 (L) ④	88 ④	+35 ④	
R124	-11	0	122	105	⑤	⑤	⑤	
R142b	-10	0	137	110				
Промежуточные смеси HFCFC/HFC (переходные альтернативы)								
R401A	-33	6,4	108	80	107 (M)	100	+13	
R401B	-35	6,0	106	77	108 (L)	98	+18	
R409A	-34	8,1	107	75	109 (M)	99	+7	
R409B	-35	7,2	105	73	100 (M)	100	+6	
R413A	-35	6,9	101	76	105 (M)	100	-9	
R402A	-49	2,0	75	53	109 (L)	100	~0	
R402B	-47	2,3	83	56	99 (L)	98	+16	
R403A	-50	2,4	93	57	105 (L)	99	+17	
R403B	-51	1,2	90	54	112 (L)	100	~0	
R408A	-44	0,6	83	58	98 (L)	100	+10	
Хлор-несодержащие хладагенты HFC (долгосрочные альтернативы)								
R134a	-26	0	101	80	97 (M)	103	-8	
R152a	-24	0	113	85	н/д	н/д	н/д	
R125	-48	0	66	51	н/д	н/д	н/д	
R143a	-48	0	73	56	н/д	н/д	н/д	
R32	-52	0	78	42	н/д	н/д	н/д	
R227ea	-16	0	102	96	⑤	⑤	⑤	
R236fa	0	>120	117					
R23	-82	0	26	1	⑤	⑤	⑤	
Хлор-несодержащие смеси HFC (долгосрочные альтернативы)								
R404A	-47	0,7	73	55	99 (L)	98	-9	
R507A	-47	0	71	54	102 (L)	98	-10	
R407A	-46	6,6	83	56	78 (L)	96	+11	
R407B	-48	4,4	76	53	93 (L)	98	-2	
R422A	-49	2,5	72	56	⑤	⑤	⑤	
R407C	-44	7,4	87	58	100 (H)	95	-8	
R417A	-43	5,6	90	68	97 (H)	⑤	-25	
R419A	-43	6,6	79	64	⑤	⑤	⑤	
ISCEON 29	-45	4,5	81	62	⑤	⑤	⑤	
R410A	-51	<0,2	72	43	142 (7/40°C)	95	-6	
FX80	-51	<0,2	70	44	⑤	⑤	⑤	
ISCEON 89	-55	4,0	70	50	⑤	⑤	⑤	
R508A	-86	0	13	-3	⑤	⑤	⑤	
R508B	-88	0	14	-3				
Безгалогидные хладагенты (долгосрочные альтернативы)								
R717	-33	0	133	60	100 (M)	105	+60	
R723	-37	0	131	58	105 (M)	106	+35	
R600a ③	-12	0	135	114	н/д	н/д	н/д	
R290	-42	0	97	70	89 (M)	102	-25	
R1270	-48	0	92	61	112 (M)	101	-20	
R170	-89	0	32	3	⑤	⑤	⑤	
R744	-57 ⑥	0	31	-11	⑤	⑤	⑤	

см. стр. 35

Рис.33 Характеристики альтернатив CFC

① Округленные значения

② Общее скольжение от пузырькообразования до линии росы – для давления 1 бар (абс.). Действительное скольжение зависит от рабочих условий.

Приближенные значения в испарителе: Н/М 70%; L 60% от общего скольжения

③ Опорный хладагент для этих значений указан на рис. 32 под названием “Заменитель для” (столбец 3) Буквы в скобках обозначают рабочие условия

Н Высокая темпер. (+7/55°C)

М Средняя темпер. (-10/40°C)

L Низкая темпер. (-35/40°C)

④ Действительно для одноступенчатых компрессоров

⑤ Данные предоставляются по запросу (должны быть указаны рабочие условия)

⑥ Тройная точка при 5,27 бар

Приведенные технические данные представляют собой средние значения, основанные на калориметрических испытаниях

## Переходные/промежуточные хладагенты

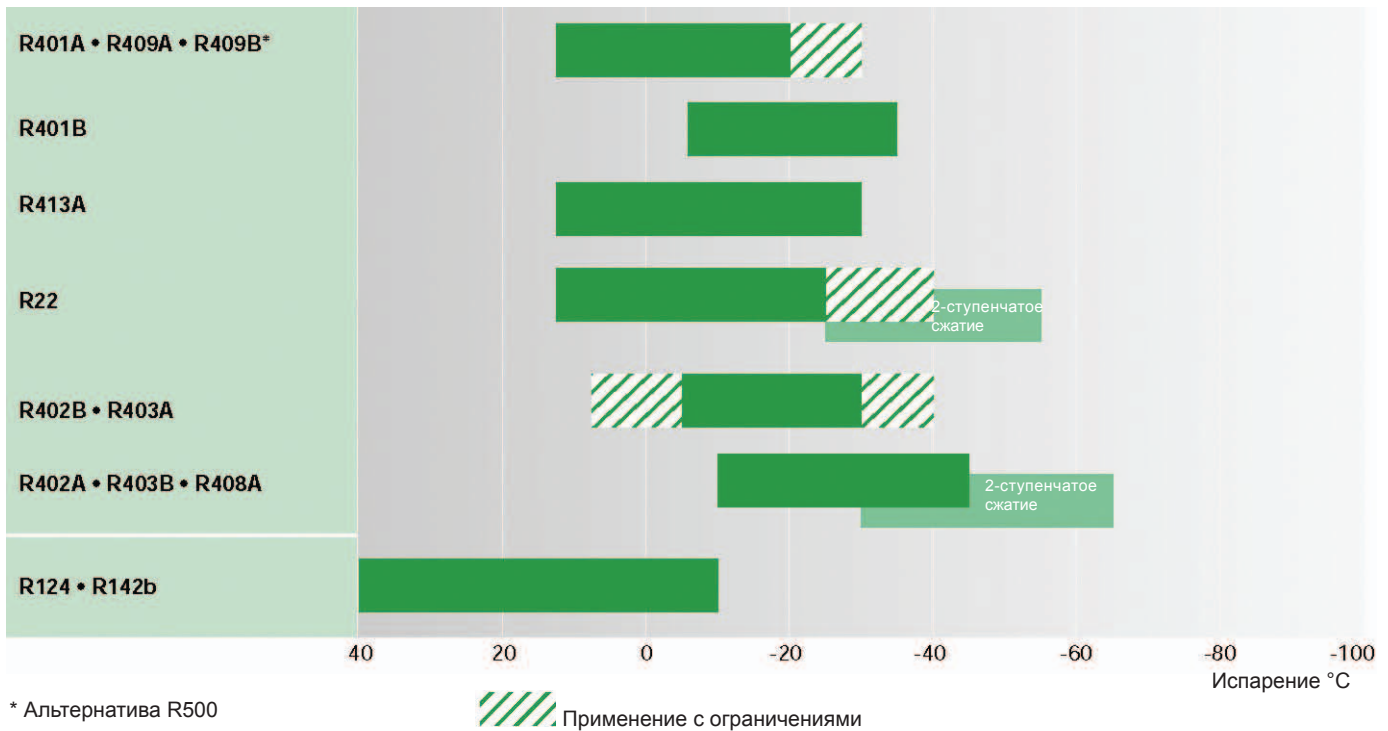


Рис.34 Области применения хладагентов и промежуточных смесей HCFC

## Хлор-несодержащие гидрофторуглеродные хладагенты и смеси

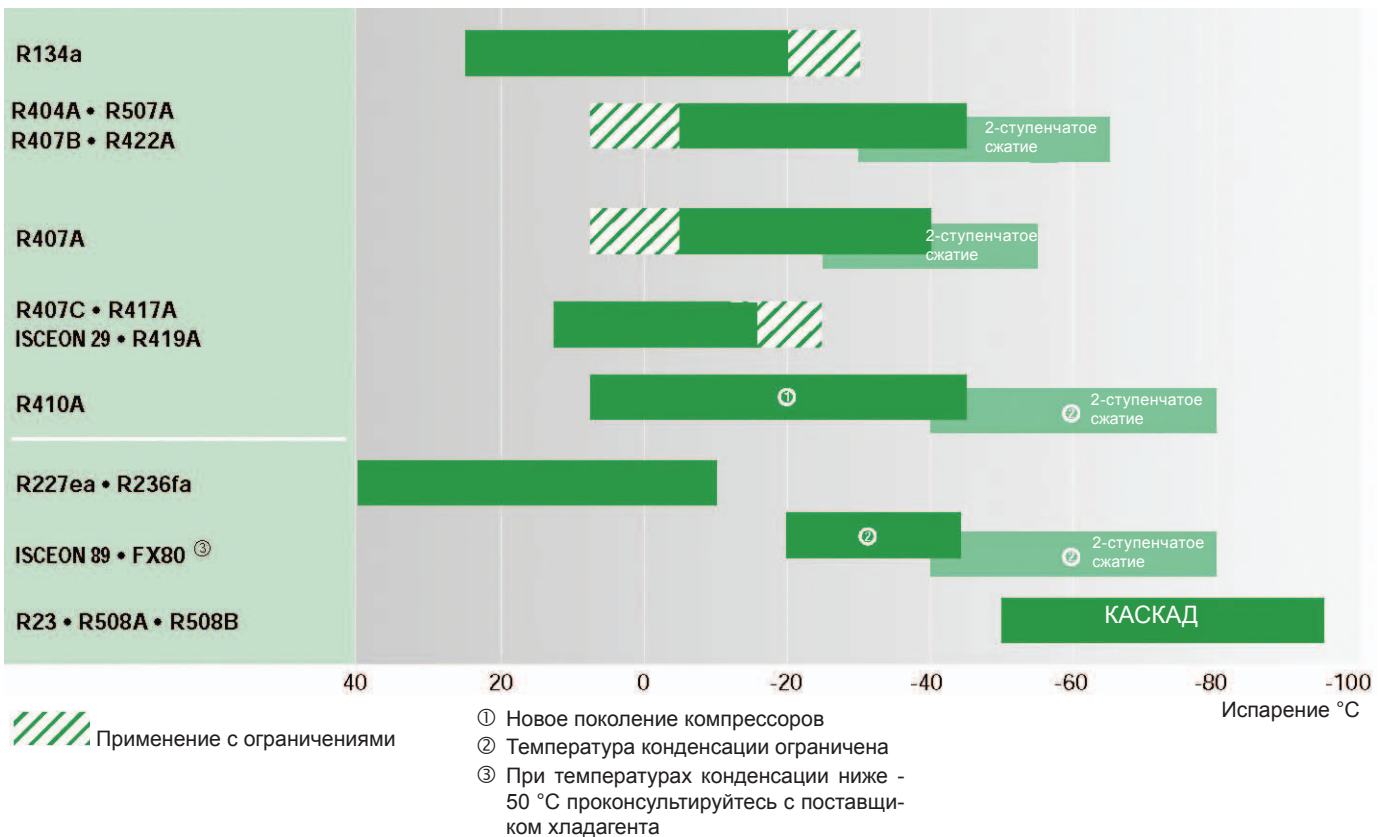


Рис.35 Области применения гидрофторуглеродных хладагентов и смесей (ODP=0)

## Безгалоидные хладагенты

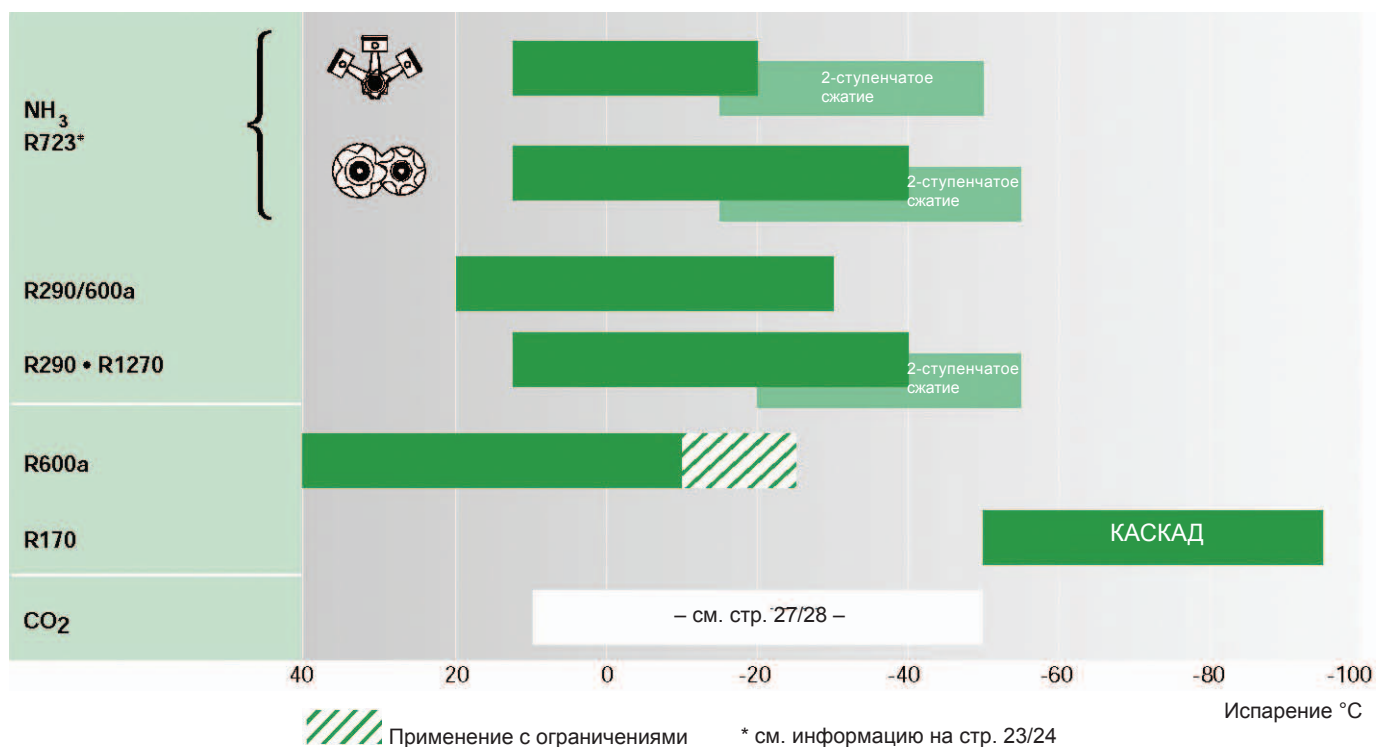


Рис.36 Области применения безгалоидных хладагентов

## Масла

	Традиционные масла				Новые масла			
	Минеральное масло (MO)	Алкилбензол (AB)	Минеральное масло + алкилбензол	Полиальфаолефин (PAO)	Полиолэфир (POE)	Поливинилэфир (PVE)	Полигликоль (PAG)	Минеральное масло с гидростойкой
(H)CFC					⚠ +VG			
NH3 • R723					⚠ +VG			
Промежуточные смеси						ⓧ	⚠	
HFC + смеси	VG	VG	VG	VG	VG		⚠	
Углеводороды							⚠	

Хорошая пригодность  
 Применение с ограничениями  
 Непригодно  
 Особо критично при влажности  
 Возможна повышенная основная вязкость  
 Расширенная программа испытаний

Дальнейшую информацию см. стр. 9/10 и пояснения по отдельным хладагентам.

Рис.37 Масла для компрессоров



Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH  
Eschenbrännlestraße 15  
71065 Sindelfingen (Germany)  
Tel. +49(0)7031-932-0  
Fax +49(0)7031-932-146 & -147  
bitzer@bitzer.de • <http://www.bitzer.de>