



ОСОБЕННОСТИ ХЛАДАГЕНТА R 410A

В настоящее время в качестве альтернативных, не содержащих хлора заменителей хладагента R 22 компания McQuay International (Италия) использует такие фторуглеродороды, как R 134a, R 407C и R 410A (см. Технический бюллетень №5 – 2004 г.; статья “Обоснование выбора хладагента для винтовых компрессоров”).

Как показали проведенные McQuay International научно-практические исследования, у каждого из вышеупомянутых хладагентов имеются свои собственные достоинства и недостатки, что позволяет заказчику варьировать выбор оборудования в зависимости от того, какая из его характеристик

(энергетическая эффективность, компактность, соотношение цена/производительность и др.) является для данного проекта наиболее значимой.

До недавнего времени хладагент R 410A активно использовался только в сплит-системах. Серия чиллеров PROXIMUS, представленная компанией McQuay International в 2004 г., доказывает, что применение этого хладагента в мощных чиллерах с винтовыми компрессорами и водяным конденсатором позволяет добиться оптимального сочетания в агрегате высокой производительности, компактности и приемлемой цены.

Химический состав

Состав хладагента R 410A	R32 (дифторметан CF_2H_2)	R125 (пентафторэтан CF_3HCF_3)
Процентное содержание	50 %	50 %



Так же, как хладагенты R 134a и R 407C, R 410A имеет нулевой потенциал истощения озонового слоя Земли, является нетоксичным (при концентрации менее 400 мг/кг) и непожароопасным.

Хладагент R 410A – это неазеотропная смесь двух фторуглеродородов, т.е. смесь, в которой каждое из веществ обладает собственными свойствами. Одним из основных недостатков неазеотропных смесей может являться температурное скольжение, т.е. изменение температуры кипения в процессе фазового перехода (испарения или конденсации). У хладагента R 410A в отличие от R 407C, являющегося также неазеотропной смесью, температурное скольжение настолько мало (всего 0,15 K), что им можно пренебречь. Благодаря

этому свойству хладагенту R 410 A присущи те же достоинства, что и R 134a, – постоянная температура в процессе фазовых переходов, стабильное поддержание требуемых параметров перегрева и переохлаждения, возможность дозаправки холодильного контура при утечках хладагента. Практическое отсутствие температурного скольжения позволяет успешно применять хладагент R 410A не только в системах с теплообменниками непосредственного испарения (как в случае с хладагентом R 407C), но также с испарителями затопленного типа.

Рабочее давление

Чем выше абсолютные значения рабочего давления в системе, тем больше нагрузка, воспринимаемая компрессором, и сила трения, испытываемая подшипниками, а, следовательно, и их износ, что определяет надежность компрессора и всего агрегата в целом. Кроме того, увеличение нагрузки при равной производительности приводит к необходимости потребления компрессором большего количества электроэнергии.

Чем выше разность давлений, тем существеннее протечки хладагента со стороны высокого на сторону низкого давления, и, как результат, – тем больше потери эффективности компрессора.

Основной недостаток хладагента R 410A – высокие значения рабочего давления и разности давлений на сторонах всасывания и нагнетания. Эти величины у R 410A гораздо выше, чем у хладагента R 134a. R 407C

имеет в этом отношении определенное преимущество, но если сопоставлять чиллеры с воздушным конденсатором и хладагентом R 407C и чиллеры с водяным конденсатором и хладагентом R 410A, то значения рабочего давления у них будут вполне сопоставимы. Из нижеприведенных таблиц видно,

что чиллеры PROXIMUS (хладагент R 410A, водяной конденсатор) и McPower (хладагент R 407C, воздушный конденсатор) имеют примерно одинаковые рабочие давления конденсации. Величины разности давлений между сторонами нагнетания и всасывания для этих чиллеров также сопоставимы.

R 410A	Температура воды на выходе из конденсатора, °C	$T_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{конд}}, \text{бар}$
PROXIMUS SE	35	40	24,4
PROXIMUS XE	35	38	23,2

R 407C	Температура наружного воздуха, °C	$T_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{конд}}, \text{бар}$
McPower SE	35	55	24,7
McPower XE	35	65	28,3

Следовательно, с точки зрения нагрузок на компрессор и эффективности холодильной машины использование хладагента R 410A оправдано в чиллерах именно с водяным конденсатором.

Удельная хладопроизводительность

Главным достоинством хладагента R 410A является его очень высокая удельная хладопроизводительность.

Сравним термодинамические параметры идеального холодильного цикла хладагентов R 134a, R 407 и R 410A для чиллеров с водяным конденсатором при следующих эксплуатационных условиях:

Температура испарения	3	°C
Температура конденсации	40	°C
Перегрев	5	°C
Переохлаждение	5	°C
Потеря давления в испарителе	0,0	бар
Потеря давления в конденсаторе	0,0	бар
Длина трубопровода всасывания	0	м
Длина трубопровода нагнетания	0	м
Количество компрессоров	1	

Если для этих хладагентов сравнивать удельную объемную хладопроизводительность q_v (количество тепла, отнятое от охлаждаемой среды 1 кг холодильного агента и равное разности энтальпий холодильного агента при выходе из испарителя и при входе в испаритель, отнесенное к объему пара, всасываемому компрессором), имеем следующие значения:

$$q_v \text{ HFC 134a} = 2429 \text{ кДж/м}^3$$

$$q_v \text{ HFC 407C} = 3629 \text{ кДж/м}^3$$

$$q_v \text{ HFC 410A} = 5599 \text{ кДж/м}^3$$

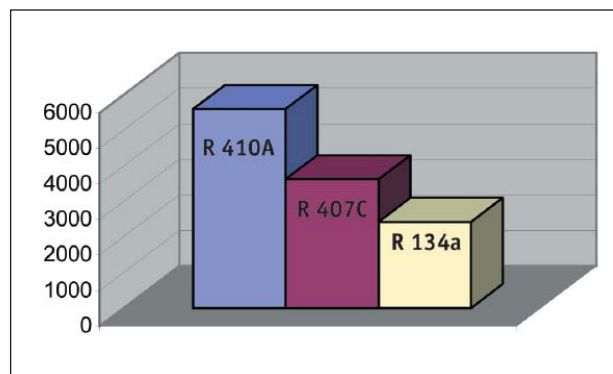


Рис. 1: Удельная объемная хладопроизводительность для различных типов хладагентов

Как видно из диаграммы на Рис.1, удельная объемная хладопроизводительность R 410A по сравнению с R 407C составляет 150%, а по сравнению с R 134a – 200%. Следовательно, хладагент R 410A обладает самой высокой среди рассмотренных хладагентов удельной объемной хладопроизводительностью.

Чем выше этот показатель, тем меньшее количество компрессоров необходимо использовать в чиллере для достижения заданной мощности, что определяет стоимость и компактность агрегата. На Рис. 2 видно, что для обеспечения хладопроизводительности до 1000 кВт чиллеры с хладагентом R 134a (для данного примера, серии WHS) должны быть оснащены двумя или тремя винтовыми компрессорами Frame 4, в то время как чиллеры с хладагентом R 410A (серии PROXIMUS) только одним. Для обеспечения хладопроизводительности от 1000 до 2000 кВт агрегаты серии WHS требуют наличия трех или четырех компрессоров, а PROXIMUS только двух.



Рис. 2. Сравнительная диаграмма количества компрессоров в зависимости от производительности чиллера - для агрегатов WHS (хладагент R 134a) и PROXIMUS (хладагент R 410A)

Холодильный коэффициент

Несмотря на то, что удельная хладопроизводительность является весьма важной термодинамической характеристикой хладагента, тем не менее, эффективность холодильной машины с точки зрения производства холода оценивается холодильным коэффициентом, представляющим собой отношение количества тепла, отнятого от охлаждаемой среды (полезный холодильный эффект) к теплоте, эквивалентной затраченной внешней работе при данном цикле.

$$KЭЭ_{хол.машин} = \frac{\text{Полезный холодильный эффект}}{\text{Подводимая мощность}}$$

Таким образом, система является тем более эффективной, чем меньшее количество энергии необходимо затратить для производства определенного количества холода. Следовательно, суммарная энергетическая эффективность зависит не только от холодильной способности хладагента, но также от КПД электродвигателя, эффективности компрессора (при частичной и полной нагрузке), конструкции теплообменника и используемых для него материалов, рабочих условий и др.

Если сравнивать холодильные коэффициенты хладагентов R 410A, R 134a и R 407C при вышеуказанных эксплуатационных условиях, то, как видно по диаграмме на Рис. 3, R 410A уступает в этом отношении остальным хладагентам, т.е. для сжатия определенного количества хладагента R 410A требуется затратить заметно больше энергии, чем для сжатия такого же количества R 407C или R 134a.

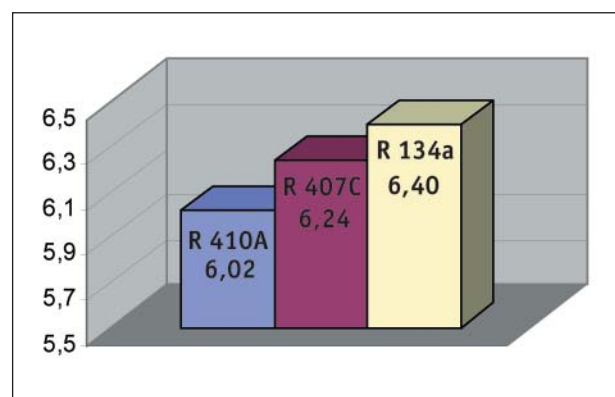


Рис. 3: Холодильные коэффициенты для различных типов хладагентов

Эффективность теплопередачи

Главное назначение хладагента – перенос тепловой энергии отсюда, где она нежелательна, туда, где она необходима или, по крайней мере, не является помехой. Таким образом, хладагент может иметь среднюю теоретическую холодильную эффективность (отношение количества тепла, отнятого от охлаждаемой среды, к теплоте, эквивалентной затраченной работе на сжатие), но за счет высокой теплопередающей способности являться хорошим рабочим веществом для холодильной машины. Чем выше эффективность теплопередачи, тем меньше требуется энергии на работу компрессора. Эффективность теплопередачи

зависит от многих факторов, в том числе от вязкости рабочего вещества (μ), удельной теплоемкости (C_p) и теплопроводности (k). Эти факторы применяются для расчета числа Прандтля, учитываемого при проектировании теплообменных аппаратов. Целевой задачей в этом случае является использование рабочего вещества, которое способно переносить значительное количество энергии (т.е. имеющего высокую удельную теплоемкость) с наибольшей эффективностью (т.е. имеющего высокую теплопроводность) и наименьшими затратами на перемещение потока (т.е. имеющего низкую вязкость).

Все хладагенты, как в жидкой, так и в газообразной фазе, проходя через компоненты системы и трубопроводы, имеют определенную потерю давления. Поскольку меняется давление, то меняется и температура хладагента в зависимости, определяющей типом хладагента. Это изменение отрицательно влияет на эффективность системы. Учитывая, что вязкость хладагента R 410A на 40% ниже вязкости R 134a, то, следовательно, и потери давления в системе с хладагентом R 410A заметно меньше. Это преимущество особенно важно для систем с испарителями полного непосредственного испарения, где хладагент представляет собой смесь насыщенного пара и жидкости, а потери давления могут достигать значительных величин.

Теплопроводность R410A, как в состоянии насыщенного пара, так и в состоянии жидкости, выше, чем хладагента R 134a. Чем выше теплопроводность, тем больше эффективность теплопередачи в теплообменниках испарителя и конденсатора и, следовательно, тем меньше требуется энергии, затрачиваемой на работу компрессора.

Таким образом, достоинствами хладагента R 410A являются высокая теплопроводность (k) и низкая вязкость (μ), которые не относятся непосредственно к термодинамическим характеристикам хладагента, но влияют на эффективность холодильной системы в целом.

Выводы

Преимущества хладагента R 410A являются:

- отсутствие температурного скольжения и в связи с этим стабильность поддержания требуемых величин перегрева и переохлаждения, возможность дозаправки холодильного контура при утечках;
- высокие показатели удельной хладопроизводительности и эффективности теплопередачи и, следовательно, необходимость меньшего количества компрессоров для обеспечения заданной мощности;

Несмотря на относительно высокое рабочее давление и низкий холодильный коэффициент хладагента R 410A показатели энергетической эффективности чиллеров, работающих на этом хладагенте (серия PROXIMUS) за счет использования передовых энергосберегающих технологий могут быть вполне сопоставимы с эффективностью чиллеров, работающих на хладагенте R 134a (серии WHS, WHS XE) (см. Рис. 4).

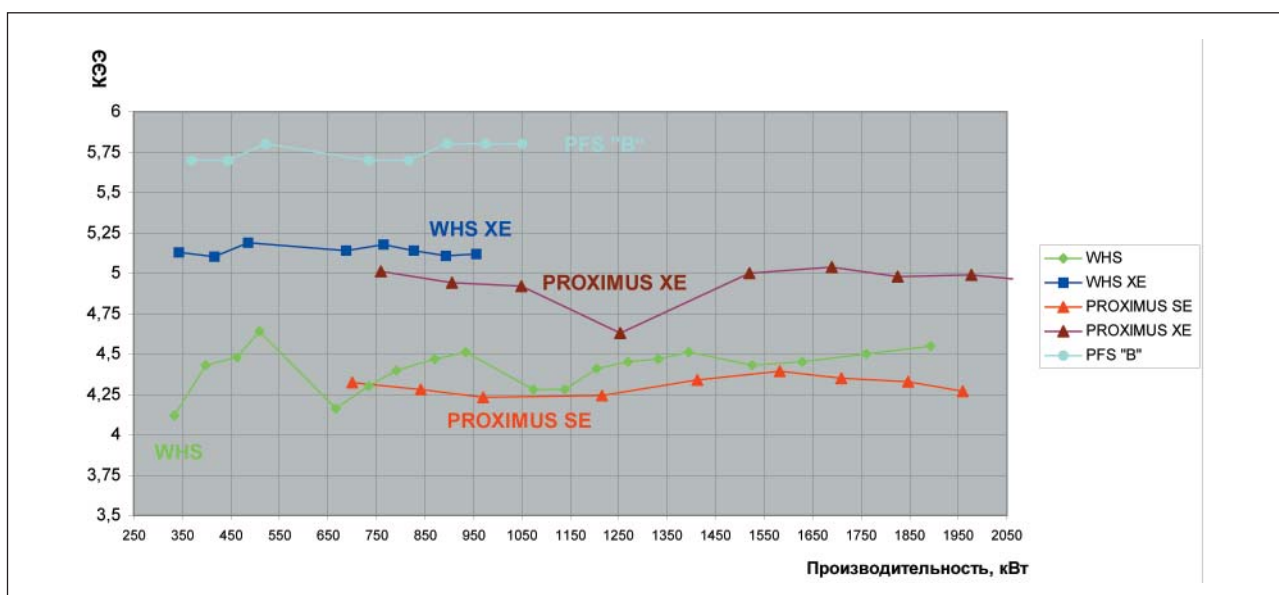


Рис. 4. Производительность и КЭЭ чиллеров производства McQuay International с водяным конденсатором и винтовыми компрессорами