



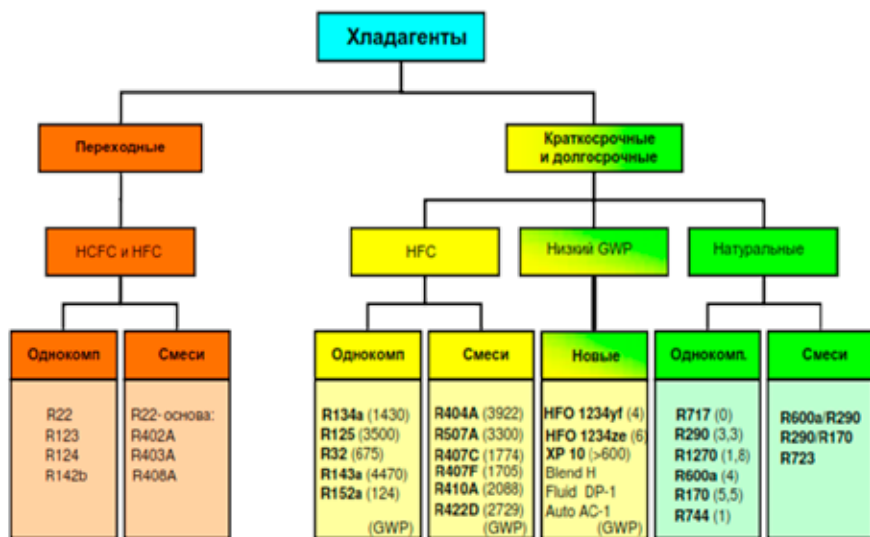
**Демонстрационный проект  
«Действующий макет холодильной  
установки на диоксиде углерода для  
магазина продуктового ритейла»**





# Демонстрационный проект «Действующий макет холодильной установки на диоксиде углерода для магазина продуктового ритейла»

## Обзор существующих хладагентов

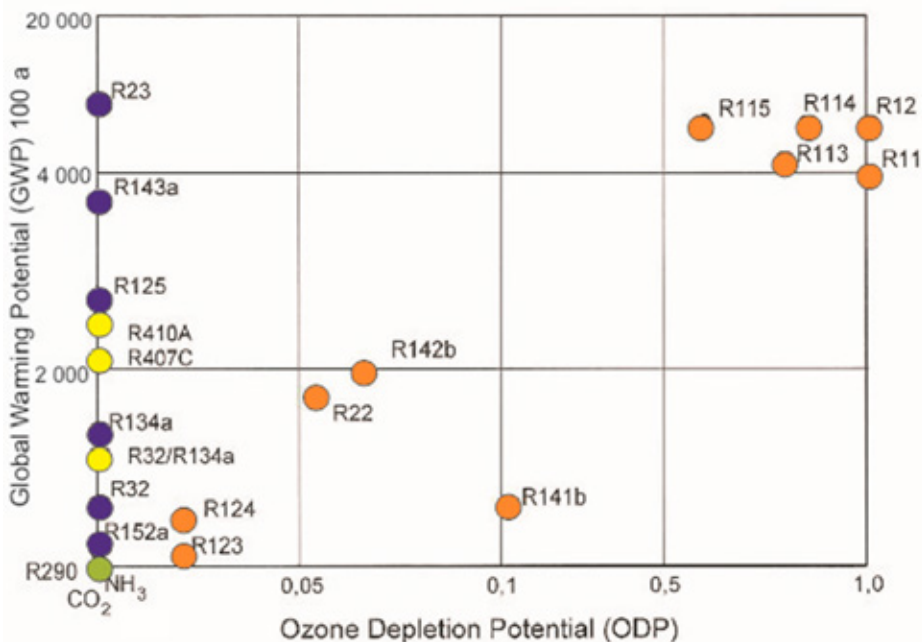


Потенциал глобального потепления (ПГП) и озоноразрушающий потенциал (ОРП) существующих хладагентов

До начала 1980-х годов хладагенты групп хлорфторуглеродов (ХФУ) и гидрорхлорфторуглеродов (ГХФУ) занимали доминирующее положение в холодильной промышленности и рассматривались в качестве рабочих веществ, обладающих только преимуществами по сравнению с другими хладагентами.

Однако к середине 1980-х годов, когда ученые ряда стран начали заниматься вопросами изучения влияния ХФУ и ГХФУ на окружающую среду, эти хладагенты стали предметом беспокойства в связи с возникшими глобальными проблемами: повышением парникового эффекта и возможным разрушением озонового слоя.

Парниковый эффект является следствием того, что некоторые газы земной атмосферы задерживают инфракрасное излучение, которое ис-



пускает земная поверхность. Следует отметить, что именно парниковый эффект позволяет поддерживать на поверхности Земли температуру, при которой возможно возникновение и развитие жизни. Однако в связи с тем, что антропогенные (связанные с деятельностью человека) выбросы диоксида углерода и других парниковых газов (в частности, фреонов) увеличивают эффективность удержания земного инфракрасного излучения по сравнению с естественным значением, температура поверхности Земли повышается больше, чем это необходимо, обуславливая тем самым искусственный парниковый эффект. Хотя концентрация всех вместе взятых ХФУ в атмосфере гораздо ниже, чем концентрация диоксида углерода, их эффективность по поглощению инфракрасного излучения во много тысяч раз выше.

Разрушение стратосферного озона имеет иную природу. Озон, содержащийся в стратосфере, поглощает 99% жесткого ультрафиолетового излучения Солнца, падающего на Землю, выполняя функцию защитного экрана для земной жизни. Впервые механизм истощения защитного слоя Земли за счет действия хлор- и бромсодержащих веществ (в частности, ХФУ) описали в 1974 г. американские ученые Марио Молина, Шервуд Роулэнд из Калифорнийского университета (США) и Поль Крутцен из Института химии им. Макса Планка в Германии.

В связи с мерами, предпринимаемыми мировым сообществом для сокращения производства и потребления озоноразрушающих веществ

и парниковых газов, все большее значение приобретают природные хладагенты: воздух, вода, углеводороды, диоксид углерода и аммиак.

Диоксид углерода (углекислый газ,  $\text{CO}_2$ , R744) — один из наиболее перспективных природных хладагентов. Он не воспламеняется, не разрушает озоновый слой, имеет низкий потенциал глобального потепления (ПГП=1), но при этом опасен для здоровья в концентрациях, превышающих 5% по объему. R744 можно использовать в качестве рабочего вещества в системах кондиционирования воздуха для автомобилей и жилых помещений, в тепловых насосах, коммерческом холодильном оборудовании и торговых автоматах.

## **ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРЕИМУЩЕСТВА ХЛАДАГЕНТА R744 ( $\text{CO}_2$ )**

Диоксид углерода представляет собой бесцветный газ (жидкость) со слегка кисловатым запахом и вкусом;

Общепринятое название: диоксид углерода, углекислый газ;

Химическая формула:  $\text{CO}_2$ ;

Обозначение как хладагента: R744;

Диоксид углерода не обладает озоноразрушающей способностью (ОРС = 0), ПГП = 1. Применение в качестве хладагента в замкнутых контурах оказывает пренебрежимо малое воздействие на климат;

Негорюч, химически неактивен, тяжелее воздуха, используется в качестве средства пожаротушения;

Может оказывать наркотическое и удушающее воздействие на людей лишь в достаточно высоких концентрациях;

Присутствует в природе в очень больших количествах. Диоксид углерода в значительной степени доступен во всем мире из-за того, что является побочным продуктом ряда производств и обладает низкой стоимостью;

Отсутствуют ограничения в соответствии с международным и российским законодательством;

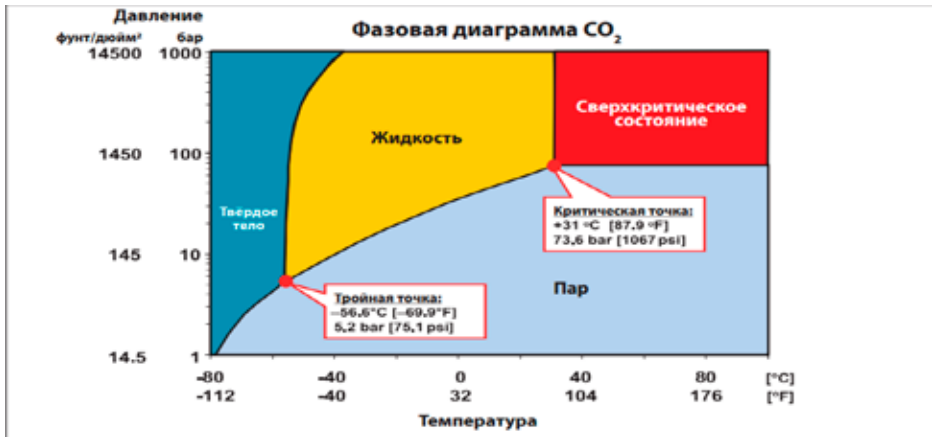
Поскольку  $\text{CO}_2$ , как природный хладагент, не загрязняет окружающую среду, то его утилизация и вторичное использование не регламентируются законодательством.

Обладает хорошей совместимостью с материалами и маслами, широко используемыми в холодильной технике.

## **Основные термодинамические свойства**

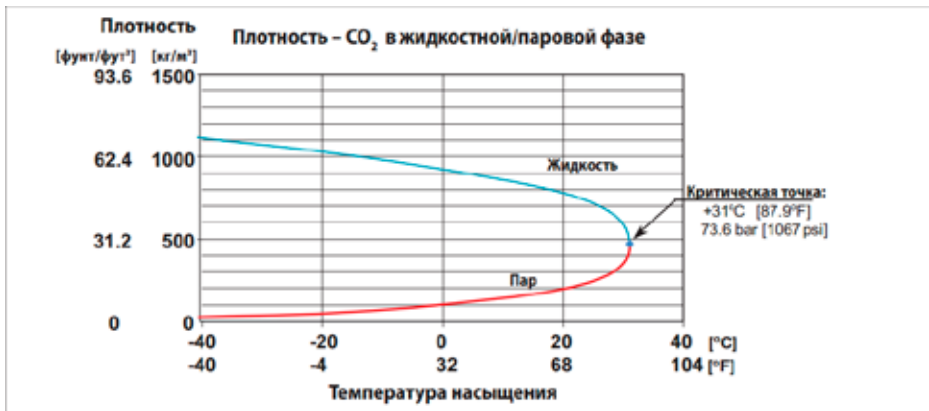
Ниже приведена фазовая диаграмма для  $\text{CO}_2$ . Кривые линии, которые разделяют диаграмму на отдельные участки, определяют предельные значения давлений и температур для различных фаз: жидкой, твердой, паровой и сверхкритической. Точки на кривых определяют давления

и соответствующие температуры, при которых две фазы находятся в равновесном состоянии. При атмосферном давлении  $\text{CO}_2$  может находиться только в твердой или паровой фазе.



Термодинамические свойства:

- низкая критическая температура;
- высокая температура тройной точки;
- температура сублимации при 760 мм рт. ст.  $-78,9^\circ\text{C}$ ;
- критическая температура  $31,06^\circ\text{C}$ ;
- критическое давление 73,6 атм;
- давление кипения при  $-15^\circ\text{C}$  23 атм;
- давление конденсации при  $30^\circ\text{C}$  72 атм;
- высокая плотность газа;
- теплообменные аппараты обладают большей эффективностью;
- меньшая разница температур между хладагентом и воздухом ( $\Delta T$ );



высокий теоретический холодильный коэффициент (COP) при температурах конденсации ниже критической температуры CO<sub>2</sub>;

низкая вязкость и связанные с этим малые потери давления, которые приводят только к незначительным падениям температуры в теплообменнике:

1 К = 1 бар;

результаты потери давления в трубопроводе незначительны.

высокий коэффициент теплопередачи при испарении и конденсации;

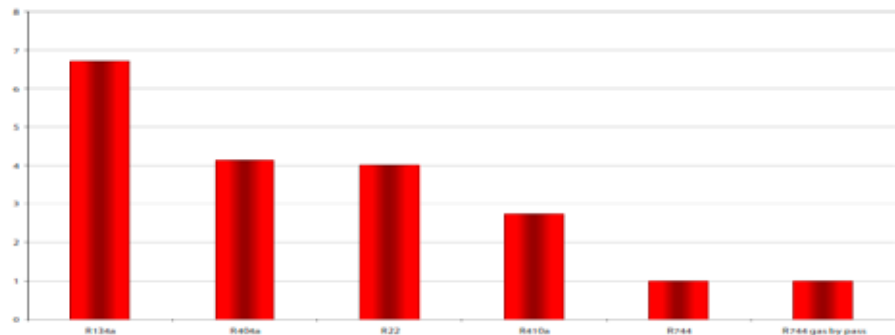
высокая объемная производительность:

в 4–5 раз больше, чем у R22, в 5–7 раз, чем у аммиака;

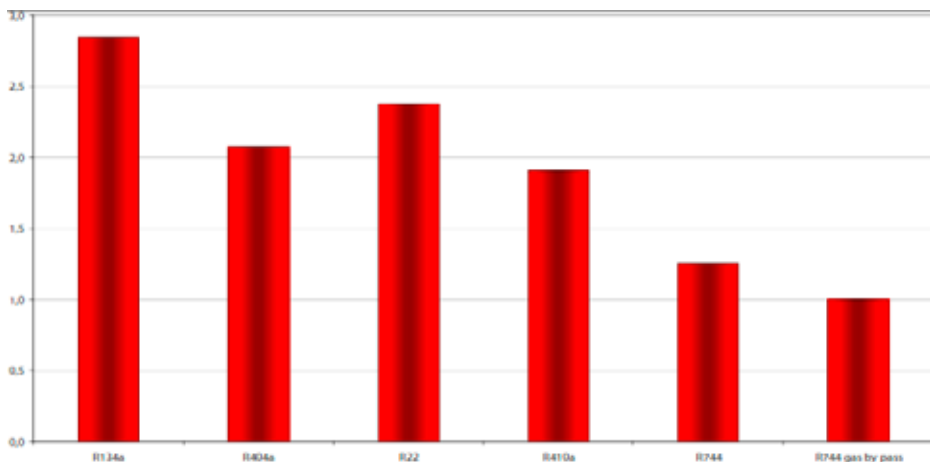
меньше габариты компрессора;

меньше типоразмер трубопроводов.

Объемная производительность компрессора при одинаковой холодопроизводительности



Диаметры всасывающих трубопроводов при одинаковой холодопроизводительности.



Сравнение CO<sub>2</sub> с наиболее распространенными хладагентами

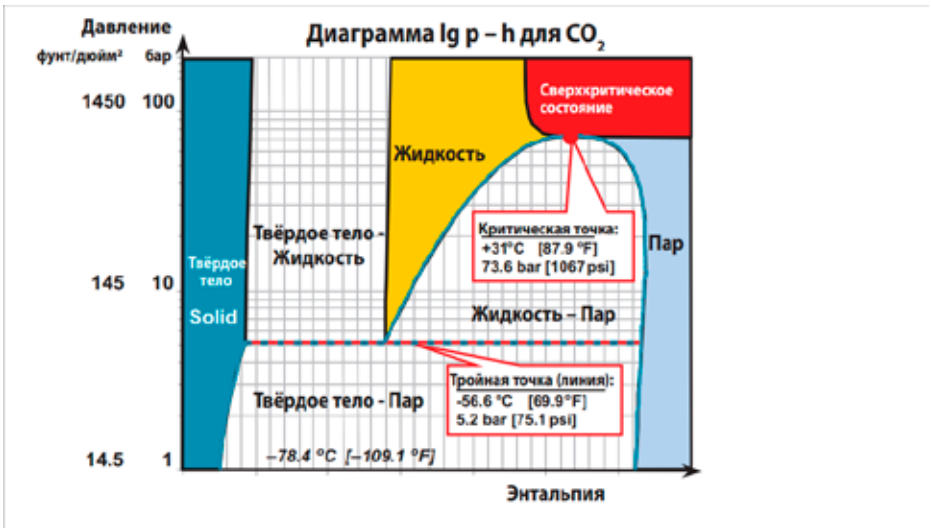
Хладагент		R134a	R404a	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
Природный хладагент		НЕТ	НЕТ	ДА	ДА
Озоноразруш. потенциал (ODP)		0	0	0	0
Потенциал глобал. потепл. (GWP)		1300	3260	0	1
Критическая точка	bar	40.7	37.3	113	73.6
	°C	101.2	72	132.4	31.1
Тройная точка	bar	0.004	0.028	0.06	5.18
	°C	-103	-100	-77.7	-56.6
Горючесть или взрывоопасность		НЕТ	НЕТ	(ДА)	НЕТ
Токсичность		НЕТ	НЕТ	ДА	НЕТ

## Схемы и технические особенности агрегатов на хладагенте R744 (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> может использоваться в качестве хладагента в холодильных системах различных типов, как субкритических, так и транскритических. При использовании CO<sub>2</sub> в качестве хладагента для любых типов холодильных систем необходимо учитывать как тройную, так и критическую точку.

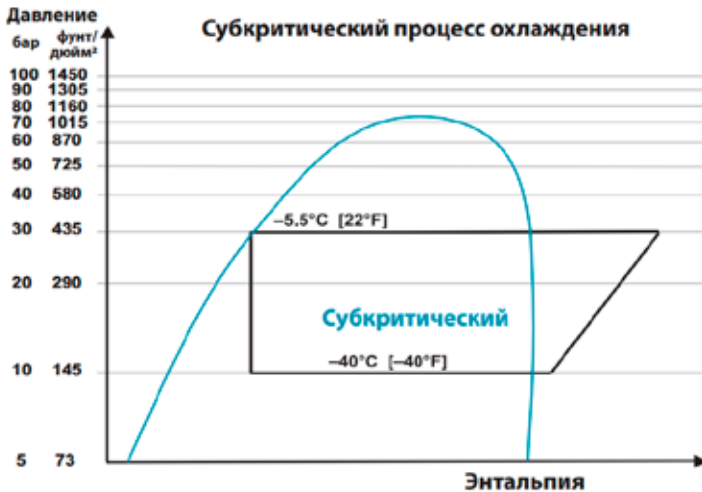
Диаграмма «давление-энтальпия» в основном используется в холодильной технике. Ниже приведена расширенная диаграмма, которая показывает твердую и сверхкритическую фазу.





### Субкритические системы

В классическом субкритическом холодильном цикле весь диапазон рабочих температур и давлений находится ниже критической точки и выше тройной точки.



Наиболее широко CO<sub>2</sub> применяется в каскадных системах, разработанных для промышленных холодильных установок. Это обусловлено тем, что диапазон рабочих давлений для данного случая позволяет использовать стандартное оборудование (компрессоры, регуляторы и клапаны), имеющееся в продаже.

Существуют различные виды каскадных холодильных систем на  $\text{CO}_2$ : системы с непосредственным кипением, системы с насосной циркуляцией, системы на  $\text{CO}_2$  с вторичным рассольным контуром или комбинации этих систем.

Использование диоксида углерода в каскадных системах дает целый ряд преимуществ:

- эффективность такой системы довольно высока даже в условиях жаркого климата;

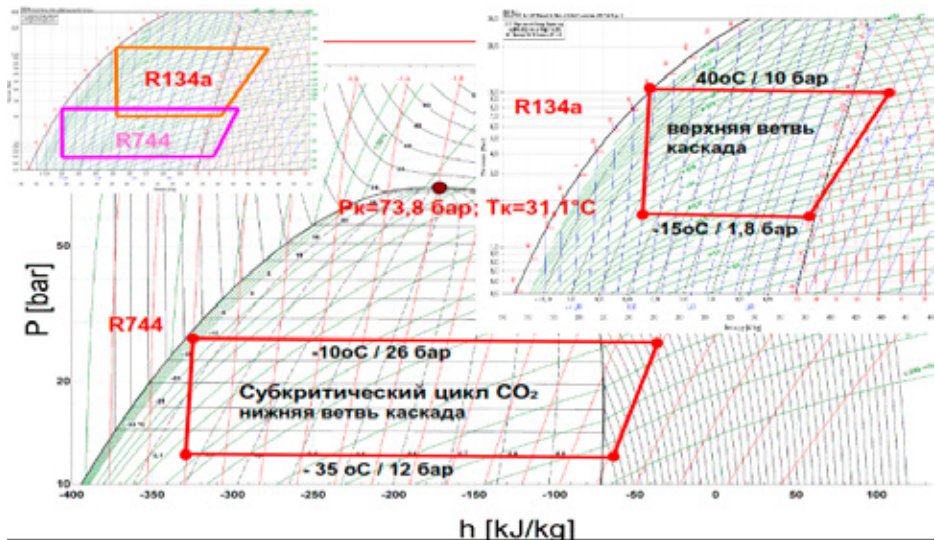
- для высокотемпературной ступени требуется очень небольшое количество хладагента;

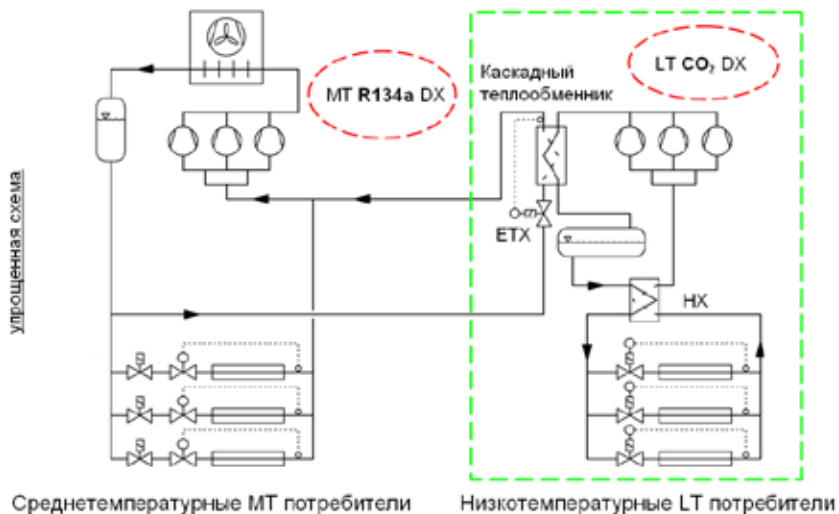
- разность температур у каскадного теплообменника относительно низкая;

- на высокой стороне различных холодильных установок можно использовать фреон или аммиак;

- аммиачно-углекислотные каскадные системы имеют самый высокий коэффициент полезного действия. Если на высокотемпературной ступени требуется использовать фреон, то предпочтительной маркой является R134a благодаря его термодинамическим свойствам и более низкому (по сравнению с R404A) негативному воздействию на окружающую среду (ПГП).

Цикл каскадной машины R134a/ $\text{CO}_2$





Промежуточная температура в каскадных системах выбирается на основе требуемой температуры в холодильных камерах, эксплуатируемых в условиях высокой температуры окружающей среды, а это значит, что эти камеры могут охлаждаться непосредственно диоксидом углерода. Кроме того, среднетемпературную часть можно оптимизировать для получения максимальной энергетической эффективности, если использовать систему только для низкотемпературного применения.

Так как каскадная система действительно состоит из двух различных холодильных систем, которые сопряжены, но изолированы на каскадном теплообменнике, расчетное рабочее давление в каждой из них может быть разным. Расчетное давление  $\text{CO}_2$  обычно основано на доступности компонентов и равно 40–45 бар (что соответствует температуре +5 — +10 °С).

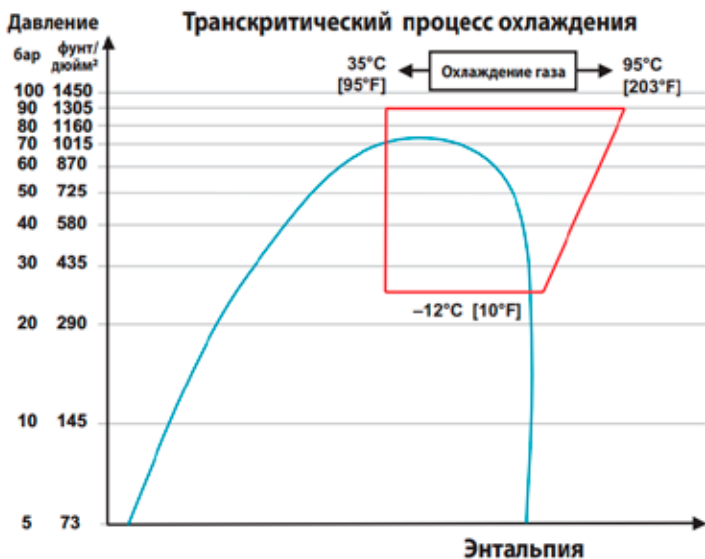
В каскадных системах важно, чтобы на высокотемпературной стороне работал по крайней мере один компрессор для обеспечения возможности запуска первого компрессора на низкотемпературной стороне. В противном случае компрессор на низкотемпературной стороне будет выключаться из-за высокого давления. Точно такая последовательность необходима при заполнении системы. Прежде всего, необходимо заполнить фреоном высокотемпературный контур и запустить его в работу. Когда это будет сделано, можно начать заправку низкотемпературной системы диоксидом углерода. Точно такая последовательность необходима при заполнении системы. Прежде всего, необходимо заполнить фреоном высокотемпературный контур и запустить его в работу. Когда это будет сделано, можно начать заправку низкотемпературной системы диоксидом углерода. Далее,

при повышении давления  $\text{CO}_2$  во всасывающей линии запускаются низко-температурные компрессоры.

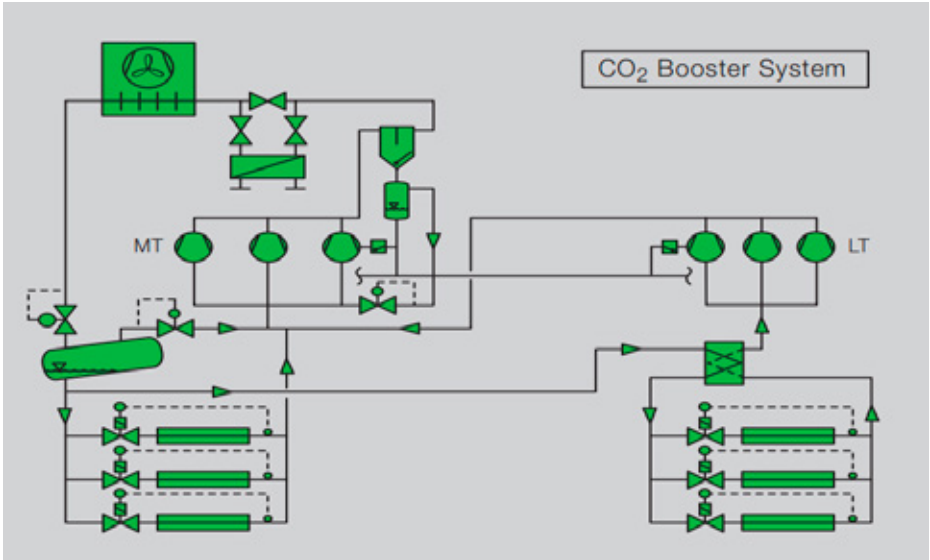
### ***Транскритические системы***

Транскритическая бустерная система является одной из наиболее перспективных систем для применения в условиях холодного и умеренного климата.

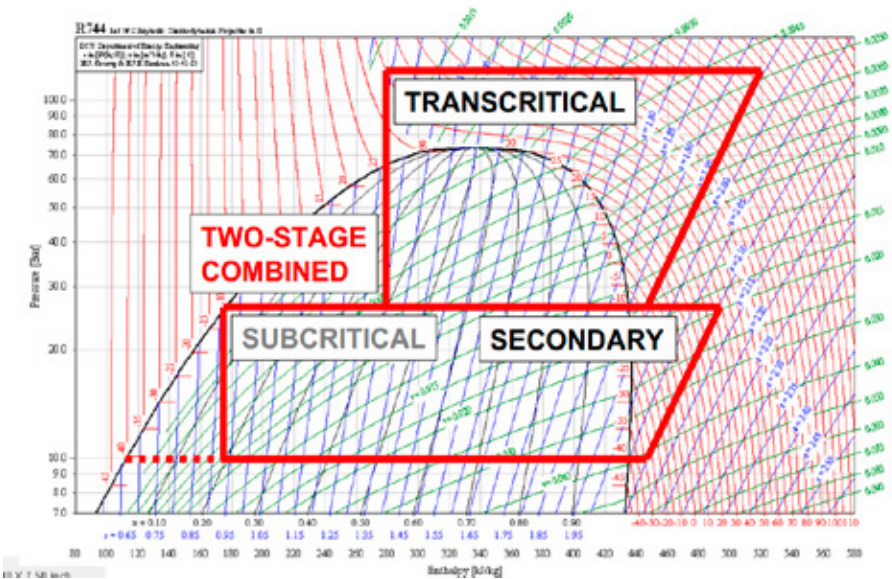
Причиной этому служат несколько факторов: транскритическая бустерная система более экономична в плане энергопотребления в сравнении с системами, работающими на фреоне R404a, и в то же время она обладает упрощенной конструкцией.



# Упрощённая схема бустерной централи



Цикл бустерной машины на CO<sub>2</sub>



Секция высокого давления начинается с компрессора высокого давления, проходит через газоохладитель и заканчивается клапаном регулиро-

вания высокого давления. Расчетное давление в этой секции, как правило, составляет от 90 до 120 бар.

Секция среднего давления начинается от расширительного клапана высокого давления, где поток разделяется на газ и жидкость в ресивере. Газообразная фаза отводится во всасывающую линию компрессора высокого давления через байпасный клапан.

Жидкая фаза подается к расширительным клапанам, где происходит ее расширение перед подачей в низкотемпературный и среднетемпературный испарители.

Газ из низкотемпературного испарителя сжимается в низкотемпературном компрессоре и смешивается с газами, поступающими из среднетемпературного испарителя и байпасной линии. Отсюда газ подается во всасывающую линию компрессора высокого давления и заполняет контур.

Расчетное давление в среднетемпературной секции обычно составляет 40–45 бар, а в низкотемпературной секции — 20–35 бар. При этом наблюдается тенденция проектировать среднетемпературную и низкотемпературную секции на одинаковое давление.

Давление в ресивере регулируется клапаном с шаговым двигателем.

Давление в ресивере должно быть выше величины давления, при котором происходит испарение в среднетемпературных испарителях, для обеспечения разности давления на среднетемпературном расширительном клапане.

С другой стороны, это давление должно быть ниже расчетного давления.

После расширения под высоким давлением производится разделение газа и жидкости,

при этом газ отводится непосредственно на всасывающую сторону компрессора, а жидкая фаза распределяется по испарителям. Описанный процесс дает возможность использовать стандартные компоненты, работающие под давлением.

Давление в ресивере можно регулировать и удерживать на уровне установленной контрольной точки. Это регулирование требует установки клапана и датчика давления.

Меры поддержания давления в ресивере выше минимально допустимого уровня.

Можно задать минимально допустимое значение давления. Если давление опустится ниже установленного значения, откроется клапан регулирования высокого давления. Этот клапан будет открываться постепенно в соответствующем частотном диапазоне.

Независимость давления в ресивере от окружающей среды делает поток в испарителях только зависимым от производительности охлаждения.

Регулирование работы газоохладителя в холодильных системах делится на три зоны.

При низких температурах регулирование работы системы происходит аналогично регулированию традиционных систем охлаждения, в которых переохлаждение является регулируемым параметром (обычно в регулировании нет необходимости при конденсации хладагента).

Когда температуры приближаются к критической точке, алгоритм изменится, постепенно увеличивая переохлаждение, при этом устраняется различие между регулированием традиционных систем и транскритических систем охлаждения.

При транскритических условиях давление является функцией температуры на выходе из газоохладителя. Целью регулирования является получение максимального холодильного коэффициента COP при данной температуре.

Работа вентиляторов газоохладителя регулируется по температуре CO<sub>2</sub> на выходе из газоохладителя. Если фактическая температура ниже заданного значения, то скорость вращения вентиляторов уменьшается. Если все компрессоры остановлены, то вентиляторы не вращаются.

В традиционных системах давление часто служит регулирующим параметром (с уменьшением давления конденсации растет производительность системы), но для транскритических систем в холодный период это может способствовать увеличению переохлаждения и привести к сильному понижению давления в ресивере. В результате этого перепад давления может быть недостаточен для нормальной работы расширительного клапана.

Общей проблемой как для субкритических систем так и для транскритических является рост давления во время простоя системы. Для того, чтобы решить эту проблему, существует несколько способов:

для поддержания давления в холодильной установке на приемлемом уровне можно использовать дополнительную небольшую холодильную машину;

установить в системе расширительный сосуд, достаточный для компенсации роста давления в системе при простое;

разрабатывать систему таким образом, чтобы она могла выдерживать стояночное давление (давление насыщенных паров при комнатной температуре) около 80 бар.

Как показывает практика, оптимальным решением для холодильных установок является использование небольшой холодильной установки для охлаждения жидкого CO<sub>2</sub>.

## Экономические факторы

Из всех многочисленных факторов при внедрении новых технологий в жизнь и в частности в выборе холодильных агентов и схем их использо-

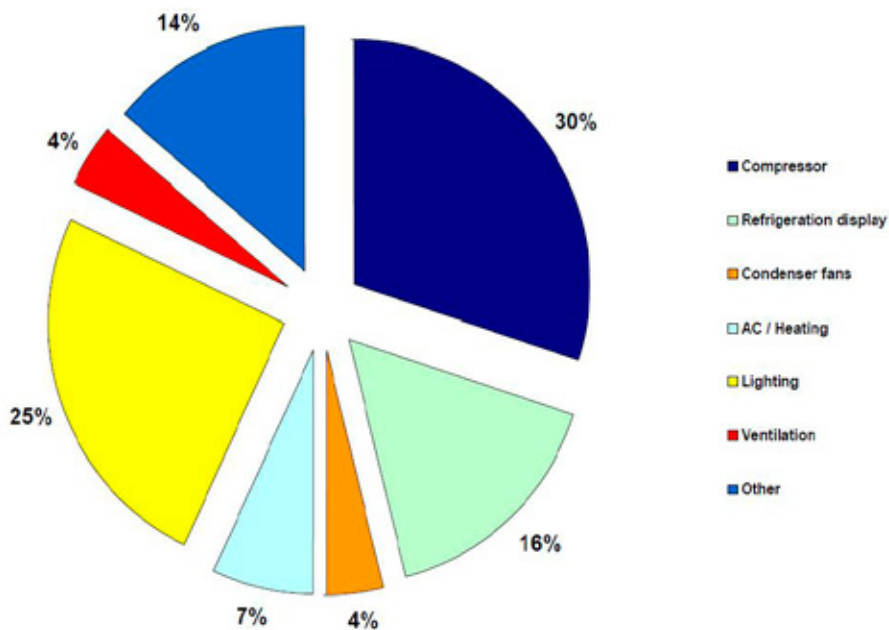
вания одним из важнейших являются объем первоначальных инвестиций и эксплуатационные расходы. Большую часть эксплуатационных расходов составляет потребление электроэнергии.

Повышение энергетической эффективности наиболее оптимальный и реальный ответ на призывы снизить эмиссию парниковых газов, и потребление энергетических ресурсов.

Как известно, для производства холода в пищевой промышленности потребляется значительное количество электроэнергии.

Сегодня около 10–15% используемой во всем мире электроэнергии приходится на выработку холода. При этом супермаркеты — безусловно, крупнейшие потребители электроэнергии. На диаграмме ниже видно, что половина энергии, расходуемой супермаркетом, идет на холодильную обработку продуктов (компрессоры, витрины и т.п.). При этом компрессоры потребляют около 30% электроэнергии.

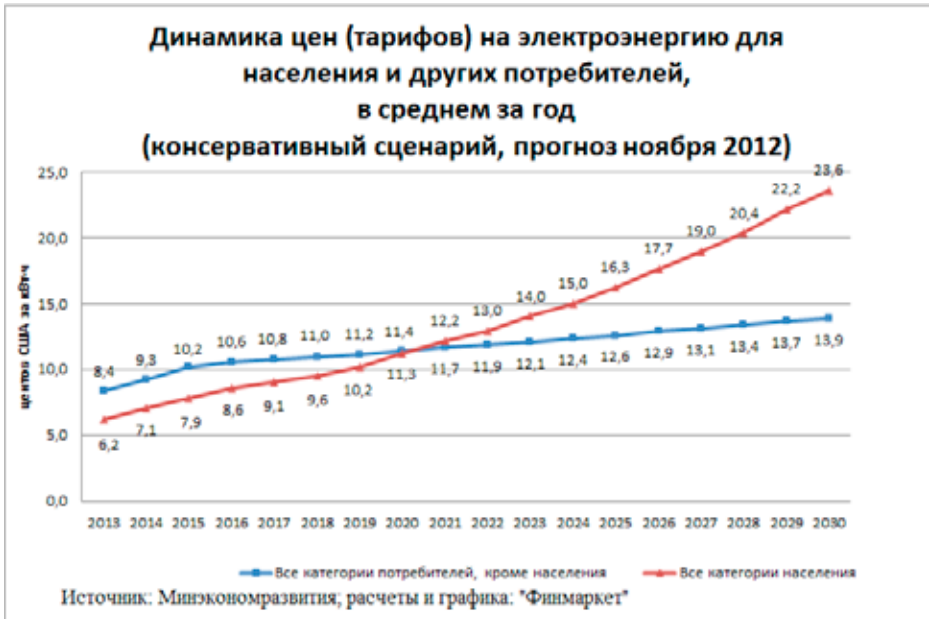
Распределение потребления электроэнергии в супермаркете.



Годовые расходы на электроэнергию в больших супермаркетах могут составлять около 1% от общего дохода. Причем сокращение энергопотребления на 50% приводит к 15%-ному увеличению прибыли для средней сети супермаркетов.

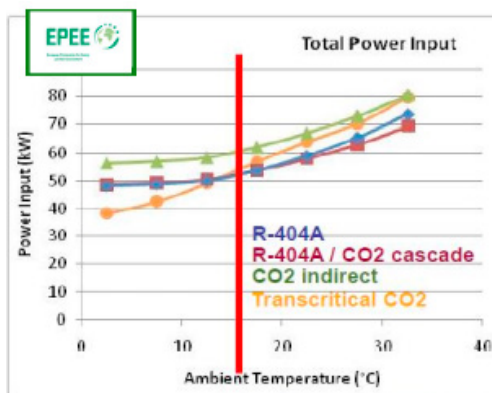


Необходимо учесть еще один существенный фактор, непрерывный рост цен на энергоресурсы. Ежегодный рост цен на электроэнергию составляет 2–11%.



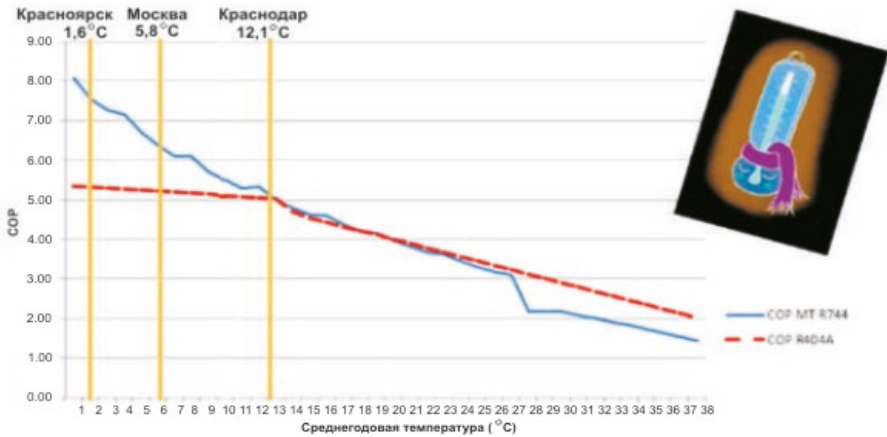
Система с CO<sub>2</sub> по эффективности явно превосходит оборудование с синтетическими хладагентами, если оно работает в области субкритических температур (температуры < 31,2 оС).

Потребляемая мощность систем CO<sub>2</sub> в сравнении с R404a



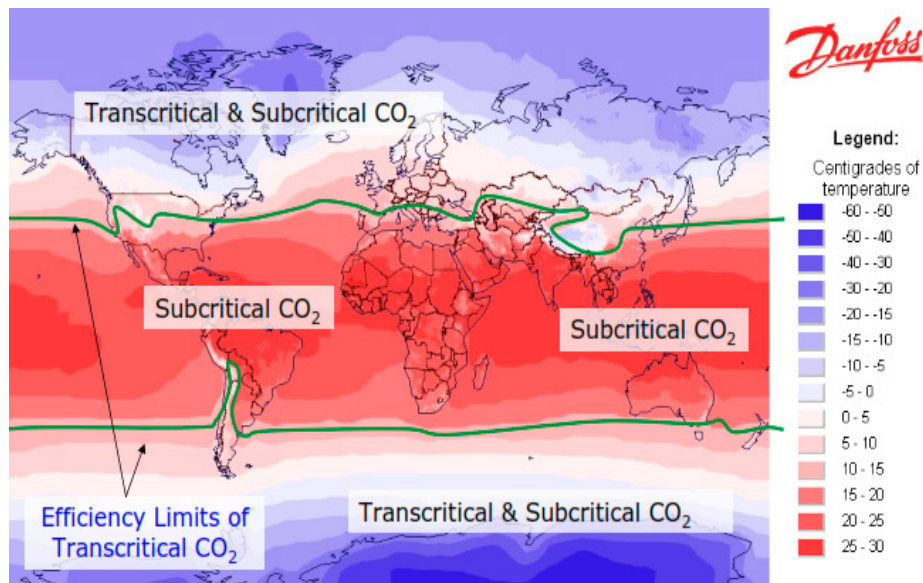
В закритическом режиме эксплуатации (температуры > 31,2 °С) системы с CO<sub>2</sub>, в общем, являются менее эффективными, чем оборудование с синтетическими хладагентами. Но если исходить из расчета за год, то в широтах с умеренным климатом холодильные установки, использующие CO<sub>2</sub>, на 10–30% энергоэффективнее установок с синтетическими хладагентами, так как большую часть года работают в области докритических температур.

COP транскритической системы на CO<sub>2</sub> в сравнении с R404a



Из графиков приведенных выше становится ясно, что энергоэффективность систем на CO<sub>2</sub> напрямую зависит от места эксплуатации холодильного оборудования, от географического фактора. А если быть точным — от среднегодовой температуры.

## Зоны эффективного использования транскритических систем CO<sub>2</sub>



Среднегодовая температура регионов России, °С

Краснодар	12,1
Ростов-на-Дону	9,9
Волгоград	8,2
Астрахань	10,5
Элиста	8,6
Воронеж	6,9
Москва	5,8
Санкт Петербург	5,8
Вологда	3,1
Нижний Новгород	4,8
Саратов	7,1
Киров	3,1
Самара	5,6
Ижевск	3,0
Пермь	2,7
Уфа	3,8
Оренбург	5,3
Екатеринбург	3,0
Челябинск	3,2
Тюмень	2,2
Курган	2,6

Ханты-Мансийск	-0,8
Омск	2,1
Томск	0,9
Кемерово	1,3
Красноярск	1,6
Чита	-1,4
Якутск	-8,8

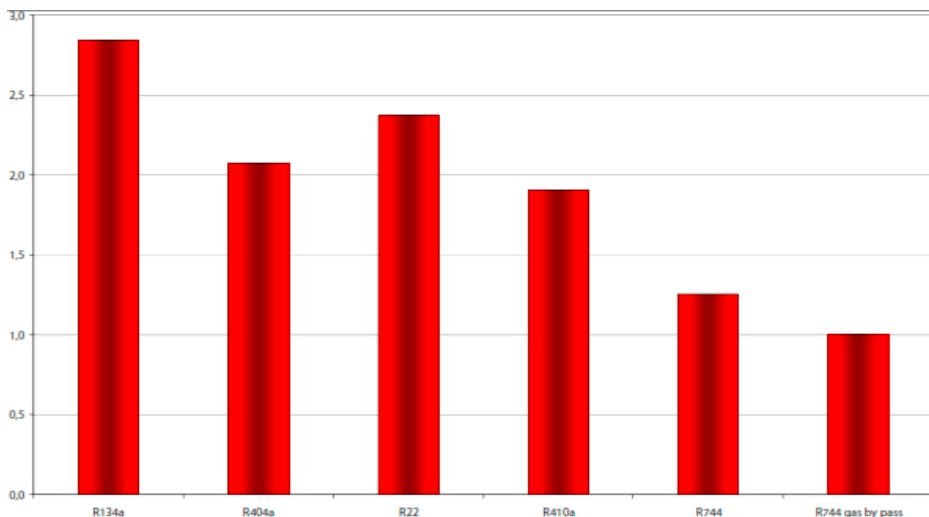
Как видно из приведенных выше данных, практически вся территория России, попадает в зону, в которой применение транскритических систем на CO<sub>2</sub> дает экономические выгоды при эксплуатации.

Немаловажным фактором является высокая относительная объемная холодопроизводительность хладагента R744.

Тип хладагента	HFC	Углеводороды		NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Хладагент</b>	R134a	R290	R600a	R717	R744
<b>Общепринятое название</b>	–	Пропан	Изобутан	Аммиак	Диоксид углерода
<b>Природа хладагента</b>	искусственный	природный	природный	природный	природный
<b>Потенциал разрушения озонового слоя</b>	0	0	0	0	0
<b>Потенциал глобального потепления</b>	3200	3	3	0	1
<b>Критическая температура, °C</b>	101,2	97	135	132,4	31,1
<b>Критическое давление, МПа</b>	4,1	4,2	3,6	11,3	7,4
<b>Горючесть</b>	–	+	+	+	–
<b>Токсичность</b>	–	–	–	+	–
<b>Относительная объемная холодопроизводительность</b>	1	1,4	0,6	1,7	8,4

В конечном итоге данный фактор влияет на типоразмер трубопроводов и массогабаритные характеристики компрессоров, а это в свою очередь влияет на уменьшение стоимости расходных материалов и комплектующих.

Диаметры всасывающих трубопроводов при одинаковой холодопроизводительности

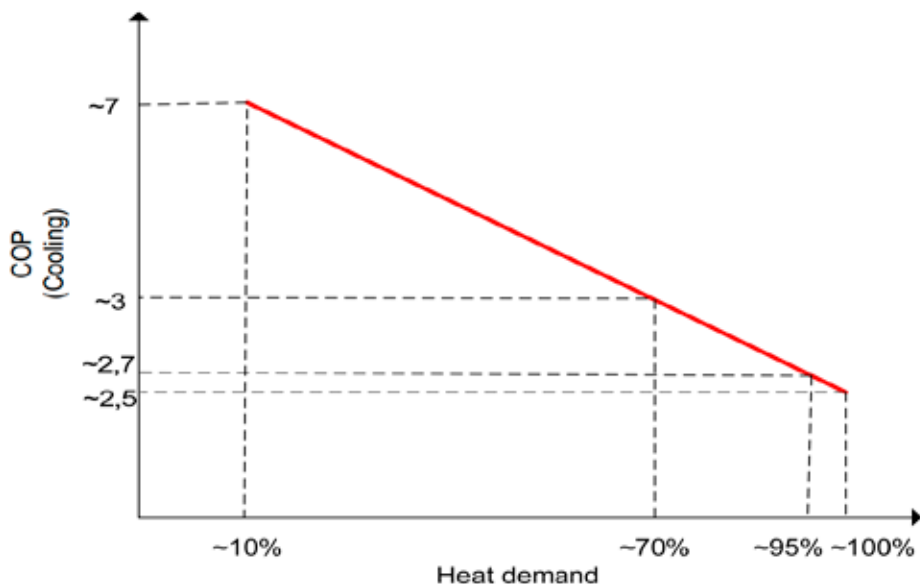


Кроме того размеры машзала также уменьшаются, так как габаритные размеры самих холодильных машин становятся меньше.



Надо отметить еще один существенный фактор—возможность в транскритических системах на  $\text{CO}_2$  эффективно использовать рекуперацию тепла для получения горячей воды для ГВС и подогрев теплоносителя для отопления. В отличие от фреоновых машин, где есть проблемы, связанные с получением высокопотенциального тепла, на холодильных машинах работающих в транскритическом цикле на  $\text{CO}_2$  таких проблем нет. Все тепло высокопотенциальное. Фактически можно использовать весь перегрев, отключая, при необходимости, газкулер.

При использовании рекуперации холодильная система на  $\text{CO}_2$  вынуждена уходить на большие давления и температуры нагнетания, при этом COP системы снижается, но зато появляется тепло для дальнейшего использования.

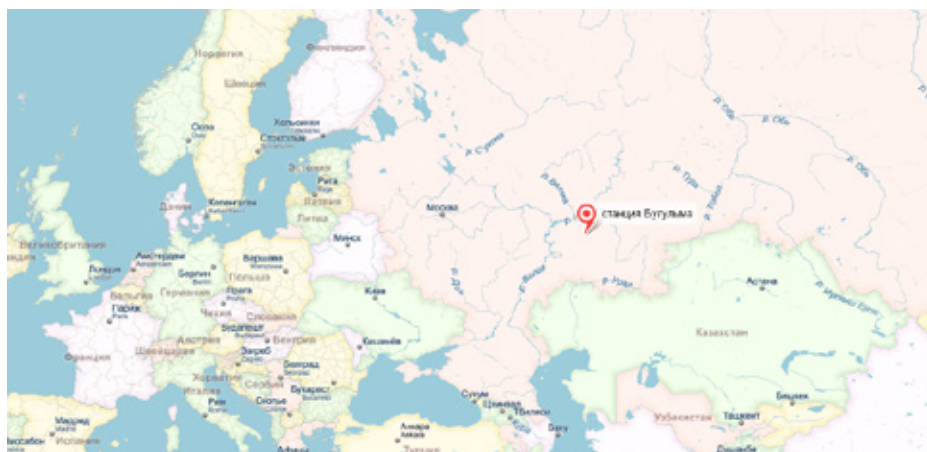


И последний фактор — стоимость заправки холодильной установки.  $\text{CO}_2$  широко используется в промышленности, он легко доступен и поэтому имеет очень низкую стоимость по сравнению с синтетическими хладагентами.

### **Сравнение расчетных экономических показателей разных холодильных систем на основе среднестатистического гипермаркета торговой площадью 1000 м<sup>2</sup>, расположенного в г. Бугульма**

Для сравнения эффективности различных типов систем рассмотрим типовой действующий магазин, расположенный в центре России, а именно — в Республике Татарстан, г. Бугульма.

Республика Татарстан, Россия. Широта 54°32'11"N (54.536413), долгота 52°47'22"E (52.789489).



- Среднегодовая температура воздуха — 3,5 °С
- Относительная влажность воздуха — 74,4 %
- Средняя скорость ветра — 4,2 м/с

Показатель	Климат Бузулука												
	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Средняя температура, °С	-16,3	-16,1	-9,3	4,7	12,3	17,3	19,8	16,7	10,9	3,6	-5,2	-10	3,5

Источник: NASA, Base Climate, RETScreen

Существующая система

Хладагент: R404a;

Температура конденсации: +45 °С;

Ступенчатое управление компрессорами и вентиляторами конденсатора: TRV механические.

Среднетемпературное оборудование

Торговое оборудование: 25 шт;

Камеры: 13 шт;

Режим Ткип: -10 °С;

Общее холодопотребление: 218 кВт.

Низкотемпературное оборудование

Торговое оборудование: 12 шт;

Камеры: 4 шт;

Режим Ткип: -35 °С;

Общее холодопотребление: 30 кВт.

Смоделируем на данном магазине энергопотребление для разных холодильных систем и сравним их с существующей.

В первой таблице сравниваем энергопотребление существующих ЦХМ (R404a, TC const) с холодильными машинами с дополнительными усовершенствованиями (плавное регулирование, ЕС-вентиляторы конденсатора, плавающая точка конденсации) — R404a, TC var. В сравнении участвует транскритическая бустерная централь на CO<sub>2</sub>.

Как видно из таблицы, транскритическая система на CO<sub>2</sub> показывает лучшие показатели энергопотребления в годовом исчислении. И лишь 3 месяца имеет худшие показатели по сравнению с самой современной фреоновой системой.

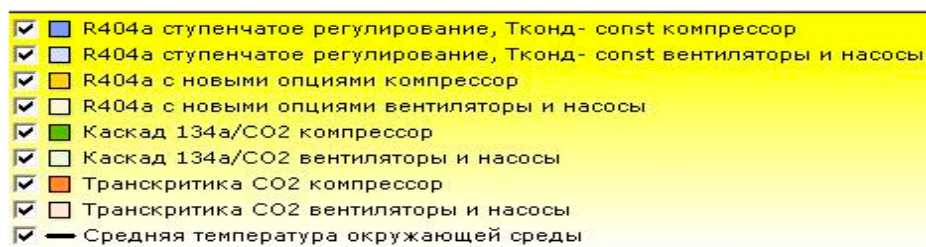
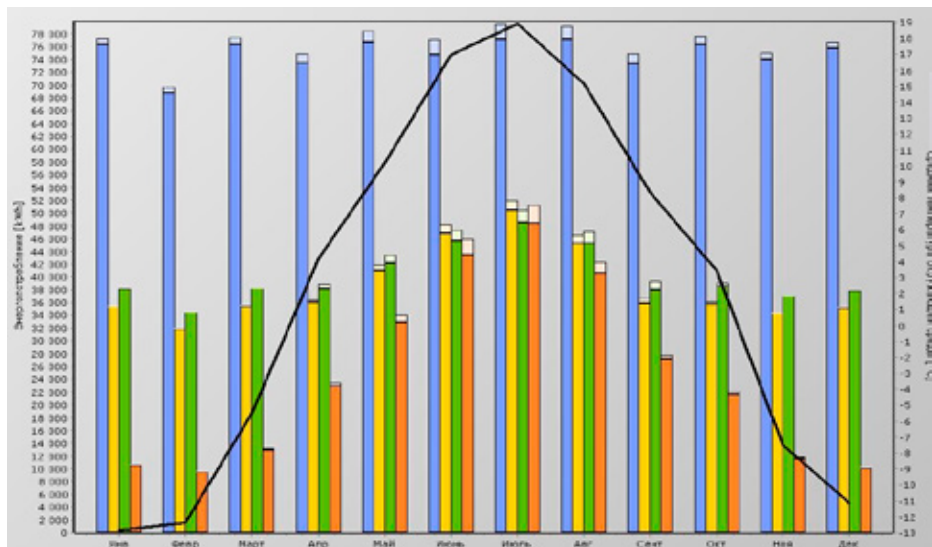
<i>Месяц</i>	<i>R404a (TC const)</i>	<i>R404a (TC var)</i>	<i>R744</i>	<i>% уменьшения R404a(TC const)/R744</i>	<i>% уменьшения R404a(TC var)/R744</i>
Январь	69 289,90	31 553,60	17 469,10	74,8	44,6
Февраль	62 499,50	28 437,60	15 597,20	75,0	45,2
Март	69 351,40	31 614,60	18 174,30	73,8	42,5
Апрель	66 817,30	32 927,50	25 488,20	61,9	22,6
май	69 983,80	40 717,30	40 572,40	42,0	0,4
Июнь	68 687,00	45 379,80	49 593,30	27,8	-9,3
Июль	70 821,40	48 786,00	56 031,80	20,9	-14,9
Август	70 730,40	45 475,70	49 581,30	29,9	-9,0
Сентябрь	66 903,60	36 412,60	34 064,60	49,1	6,4
Октябрь	69 373,80	32 697,70	24 322,30	64,9	25,6
Ноябрь	67 253,71	30 660,80	17 782,30	73,6	42,0
Декабрь	68 817,80	31 319,90	17 386,20	74,7	44,5
<b>Общее за год</b>	<b>820 529,61</b>	<b>435 983,10</b>	<b>366 063,00</b>	<b>55,4%</b>	<b>16,0%</b>

Сравнение энергопотребления холодильного оборудования ГМ Бугульма на разных хладагентах, (кВт\*ч,%).

На графике ниже приведено энергопотребление по месяцам разных систем. В сравнение добавлена каскадная машина на R134a/CO<sub>2</sub>.



## Энергопотребление холодильных машин



Энергоэффективность каскадной машины на R134a/CO<sub>2</sub> сравнима с современными системами на R404a;

В условиях климата г. Бугульма энергопотребление оборудования на CO<sub>2</sub> меньше на 16% аналогичного оборудования на R404a (при условии использования плавающей точки конденсации с deltaT=30 °C);

В условиях климата г. Бугульма энергопотребление оборудования на CO<sub>2</sub> меньше на 55% аналогичного оборудования на R404a (при условии использования постоянной точки конденсации T<sub>c</sub>=45 °C);

При первоначальной разнице в стоимости оборудования 20% общие затраты на конец периода эксплуатации оборудования (7–10 лет) равны!

При условии использования систем утилизации тепла общие затраты равны в период эксплуатации 4–5 лет!

## Описание учебного стенда на хладагенте R744

В рамках Проекта ЮНИДО/ГЭФ — Минприроды России «Поэтапное сокращение потребления гидрохлорфторуглеродов и стимулирование перехода на не содержащее гидрофторуглероды энергоэффективное холодильное и климатическое оборудование в Российской Федерации посредством передачи технологий» на базе производственной площадки ООО «КПП Норд» создан учебный стенд на хладагенте R744 для демонстрации преимуществ использования диоксида углерода (CO<sub>2</sub>).

Состав учебного стенда:

транскритическая централь бустерного типа на CO<sub>2</sub>;

газкулер;

торговое холодильное оборудование (низкотемпературная бонета — 1 шт., среднетемпературная горка — 1 шт.);

дополнительные ПТО с гидромодулем для имитации работы рекуперации тепла;

система мониторинга.

Бустерная транскритическая холодильная централь на хладагенте R744 представляет собой полноразмерную централь которая может быть установлена на среднем супермаркете торговой площадью 400–500 м<sup>2</sup>.



Технические характеристики транскритической бустерной центральной на R744:

хладагент: R744;

компрессоры: FRASCOLD:

MT ступень: 3 компрессора, 1 с частотным регулированием;

LT ступень: 1 компрессор с частотным регулированием;

полезная холодопроизводительность:

MT ступень — 39,35 кВт, T<sub>кип</sub> = -10 °C;

LT ступень — 6,61 кВт, T<sub>кип</sub> = -35 °C;

расчётные давления:

высокая ступень 100 бар;

средняя ступень 45 бар;

низкая ступень 30 бар;

поддержание промежуточного давления (давление ресивера): байпас;

переохладитель жидкого хладагента за счёт всаса LG ступени: есть;  
газкулер LG ступени: есть;  
тепловая мощность рекуперативного ТО: 28 кВт;  
способ сохранения хладагента при стоянке: частичное стравливание в атмосферу.

Данный учебный стенд демонстрирует работу холодильной установки на CO<sub>2</sub> на реальном торговом оборудовании. Система мониторинга позволяет в реальном времени видеть все показатели работы холодильной установки, а также оперативно менять параметры работы установки и фиксировать изменение других параметров. Централь, кроме того, оснащена приборами измерения электрической потребляемой мощности, что дает возможность демонстрировать изменения энергопотребления на разных режимах.

Предусмотрена возможность моделирования на данном стенде работы системы рекуперации тепла.

Все вышеописанное дает возможность демонстрации работы транскритической холодильной установки на хладагенте R744 на всех режимах с привязкой к электропотреблению установки.

## Заключение

Представленный проект отвечает всем требованиям, предъявляемым к демонстрационным проектам, создаваемым в рамках Проекта ЮНИДО/ГЭФ — Минприроды России:

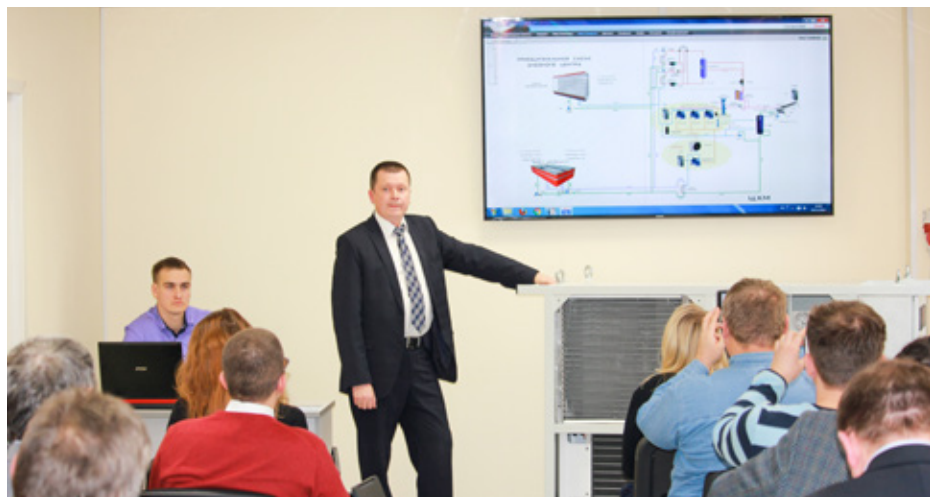
Энергоэффективность — снижение энергопотребления по сравнению с системами, использующими ГХФУ и ГФУ на 3–18% (в зависимости от климатического пояса России без учета систем утилизации тепла), а с учетом систем утилизации тепла энергетическая эффективность возрастает до 30%;

Экологичность — используется природный хладагент R744 (CO<sub>2</sub>), имеющий показатели ОРС = 0 и ППП = 1;

Данный объект является типовым и может в качестве примера положительного опыта тиражироваться на территории Российской Федерации;

Согласовано посещение объекта представителями заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, МЦНТИ, ЮНИДО и хозяйствующими субъектами — потенциальными заказчиками для изучения особенностей его реализации;

Энергоэффективность проекта будет подтверждена документацией и расчетами, демонстрирующими более высокий уровень энергоэффективности при переходе от использования на данном объекте озоноразрушающих веществ (ХФУ, ГХФУ) или парниковых газов (ГФУ) к холодильным системам с природными хладагентами, а также данными по эксплуатации объекта за длительный период.



Созданный в рамках демпроекта стенд позволяет изучать особенности функционирования холодильных систем с использованием диоксида углерода.

До конца 2015 года на площадях учебно-производственного комплекса ЗАО «НОРД-СМ», расположенного по адресу: г. Москва, ТиНАО, д. Настасьино (24 км от МКАД по Киевскому шоссе), прошли обучение три группы, в которые вошли специалисты строительной индустрии, представители федеральных органов исполнительной власти и других целевых групп, заинтересованных в изучении монтажа, ремонта, обслуживания и эксплуатации холодильного оборудования на озонобезопасном хладагенте R744 (CO<sub>2</sub>).









