

The Future of Cooling and Heating  
Будущее отрасли охлаждения и отопления

2015



**Multilateral Fund**  
for the Implementation of the Montreal Protocol

# Heat recovery in the refrigeration cycle

All refrigeration systems act as heat pumps, moving heat from a cold process (evaporator) to a condenser, from where it is rejected into the atmosphere. However, the rejected heat can also be utilized.

The utilization of waste heat is profitable wherever heating and refrigeration are required at the same time, or where waste heat can be stored:

- In skating and hockey arena, where with ice rink cooling need there are needs of stand and building heating and of hot water for resurfacing;
- In air conditioning systems to reheat dehumidified air;
- In food processing, cold storage facilities, hotels, shops, where, on the one hand, cold storage rooms are operated and where, on the other, there is always a great demand for domestic hot water and heating;
- In industrial processes.

It is possible to capture the rejected heat either at the compressor’s discharge gas lines or during the oil cooling process of a plant’s compressor before it is redirected.

There are multiple installation options that may be considered in order to maximise the efficiency of heat recovery. The new system solutions with natural refrigerants provide fresh possibilities for waste heat utilization.

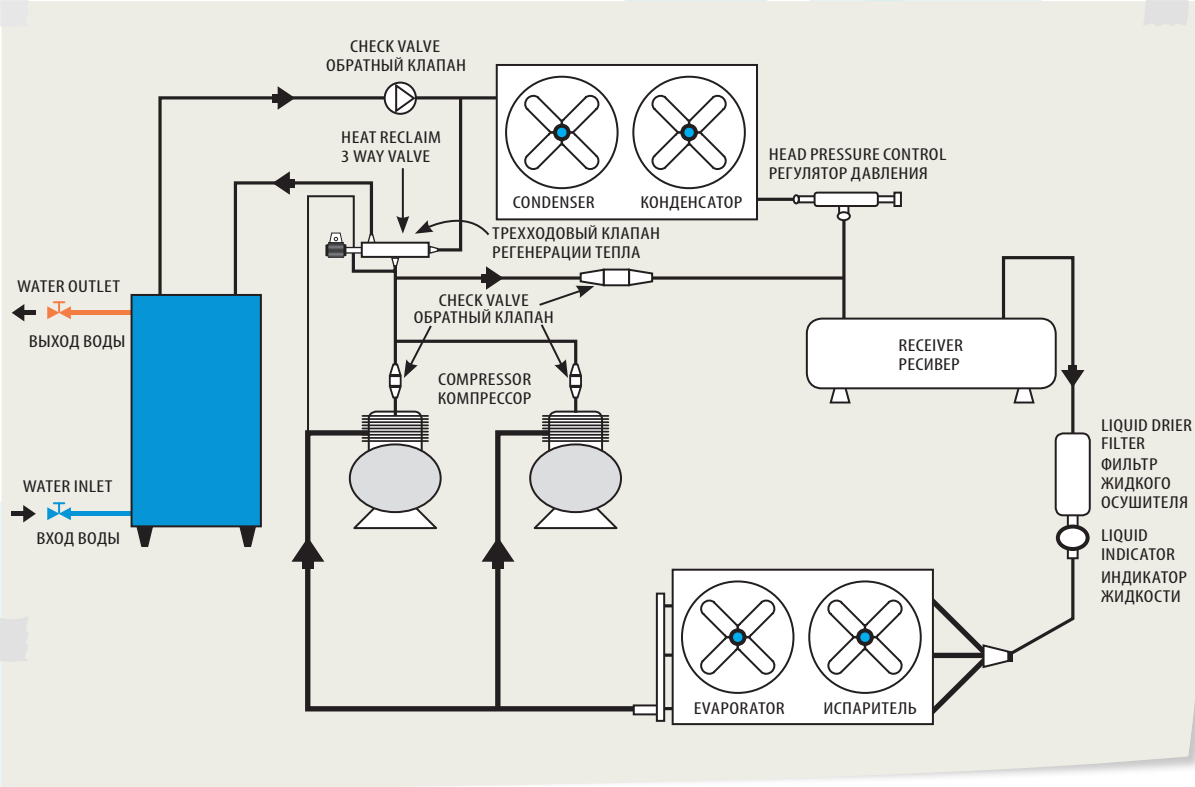
# Регенерация тепла в холодильном цикле

Холодильные системы парокompрессионного типа работают как тепловые насосы, при помощи испарителя отбирая тепло (из холодильной камеры или охлаждаемого помещения) и посредством конденсатора выбрасывая его в атмосферу.

Однако это «бросовое» тепло можно также пустить в дело. Особенно выгодна утилизация тепла, отводимого холодильной установкой, когда обогрев и охлаждение требуются одновременно, или же имеется возможность накопить вырабатываемое тепло:

- на катке, где наряду с охлаждением ледового покрытия требуется обогрев помещений и горячая вода для санитарных и технических нужд;
- в системах кондиционирования воздуха для вторичного подогрева осушенного воздуха;
- на предприятиях пищевой промышленности, в хладохранилищах, гостиницах, магазинах, где с одной стороны необходимо поддерживать холод для хранения продуктов, а с другой — всегда большой спрос на горячую воду и отопление помещений;
- в промышленном производстве.

Тепло, отводимое холодильной установкой, можно улавливать либо на выходе из компрессора, либо во время охлаждения компрессорного масла, прежде чем оно будет перенаправлено дальше.



Есть множество вариантов монтажа, позволяющих увеличить эффективность регенерации. Использование природных хладагентов существенно расширяет возможности утилизации «бросового» тепла.

January  
Январь

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Th/Чт |
| 2  | Fr/Пт |
| 3  | Sa/Cб |
| 4  | Su/Bc |
| 5  | Mo/Пн |
| 6  | Tu/Вт |
| 7  | We/Ср |
| 8  | Th/Чт |
| 9  | Fr/Пт |
| 10 | Sa/Cб |
| 11 | Su/Bc |
| 12 | Mo/Пн |
| 13 | Tu/Вт |
| 14 | We/Ср |
| 15 | Th/Чт |
| 16 | Fr/Пт |
| 17 | Sa/Cб |
| 18 | Su/Bc |
| 19 | Mo/Пн |
| 20 | Tu/Вт |
| 21 | We/Ср |
| 22 | Th/Чт |
| 23 | Fr/Пт |
| 24 | Sa/Cб |
| 25 | Su/Bc |
| 26 | Mo/Пн |
| 27 | Tu/Вт |
| 28 | We/Ср |
| 29 | Th/Чт |
| 30 | Fr/Пт |
| 31 | Sa/Cб |

# Geothermal heat pump

Geothermal heat pumps (GHPs) use the constant temperature of the earth as the exchange medium. This allows the system to reach fairly high COP (3 to 6), compared to 1,75 to 2,5 for air-source heat pumps.

The GHP exchanges heat with the earth through a ground heat exchanger (ground loop). A fluid (usually water or a mixture of water and antifreeze) circulates through the ground loop pipes to absorb or relinquish heat within the ground.

As with any heat pump, geothermal heat pumps are able to heat, cool, and, if so equipped, supply the house with hot water. The heat removed from the indoor air during the summer can also be used to heat water, providing a free source of hot water. Relative to air-source heat pumps, GHPs are quieter, last longer, need little maintenance, and do not depend on the temperature of the outside air.

Even though the installation price of a geothermal system can be several times that of an air-source system of the same heating and cooling capacity, the additional costs are returned to end user in energy savings in 5 to 10 years. System life is estimated at 25 years for the inside components and over than 50 years for the ground loop.

# Геотермальные тепловые насосы

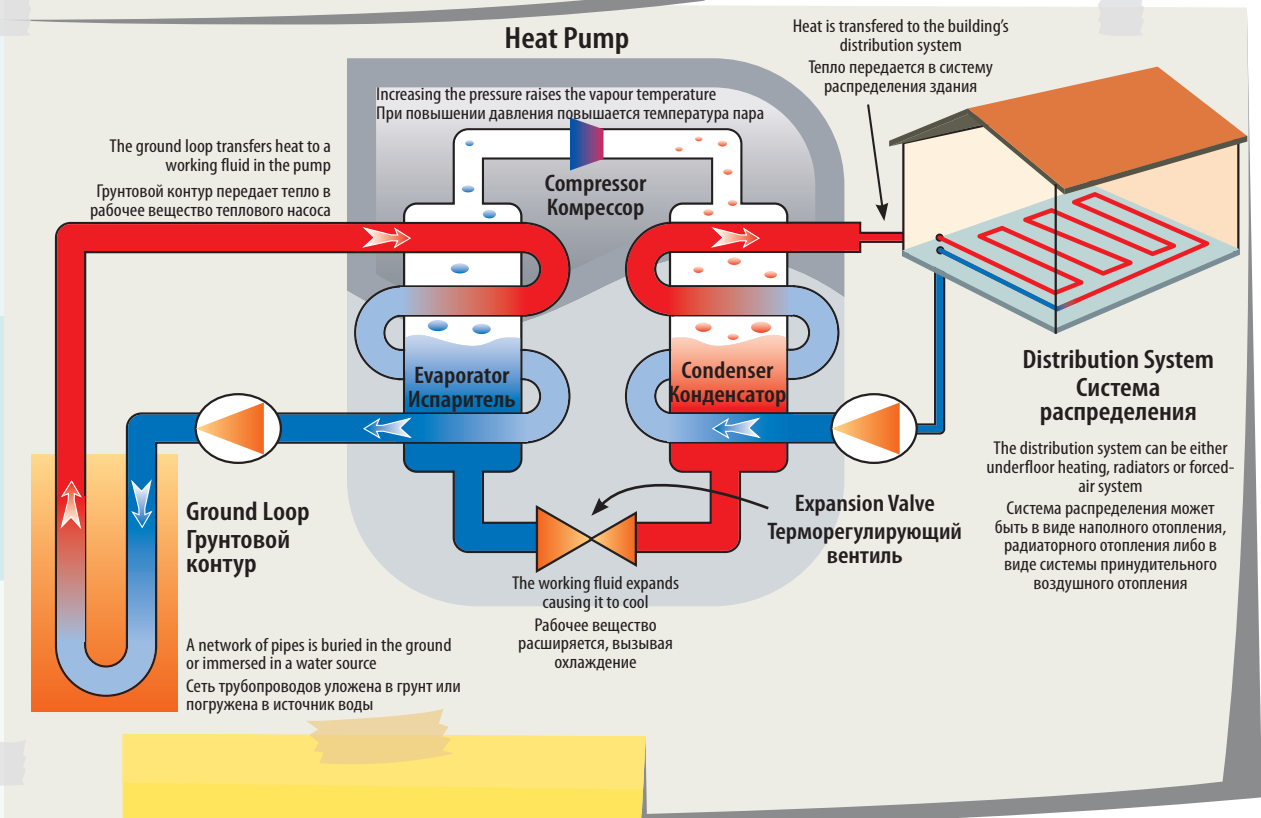
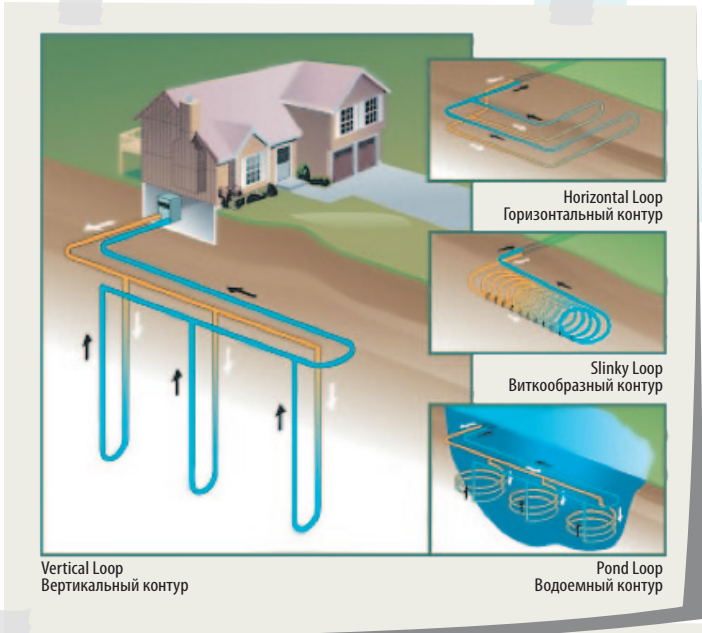
Геотермальные тепловые насосы (ГТН) используют относительное постоянство температуры грунта на глубине нескольких метров. КПД таких систем составляет от 3 до 6, что выше аналогичного показателя воздушных тепловых насосов, КПД которых обычно лежит в диапазоне от 1,75 до 2,5.

Для теплообмена с грунтом в ГТН используется грунтовый теплообменник: сеть трубопроводов, по которой циркулирует жидкий теплоноситель (обычно вода или смесь воды с антифризом).

Как и все тепловые насосы, ГТН могут обогревать, охлаждать и, при соответствующем оснащении, обеспечивать дом горячей водой. Тепло, выносимое из помещения летом, также можно использовать для обогрева воды.

По сравнению с воздушными тепловыми насосами, ГТН тише, долговечнее, техническое обслуживание систем проводится реже, их работа не зависит от температуры атмосферного воздуха.

Несмотря на то, что установить геотермальную систему стоит в несколько раз дороже, чем воздушный тепловой насос аналогичной производительности, затраты окупятся за пять — десять лет эксплуатации. При этом внутренние детали системы способны прослужить не менее 25 лет, а грунтовый контур — более 50 лет.

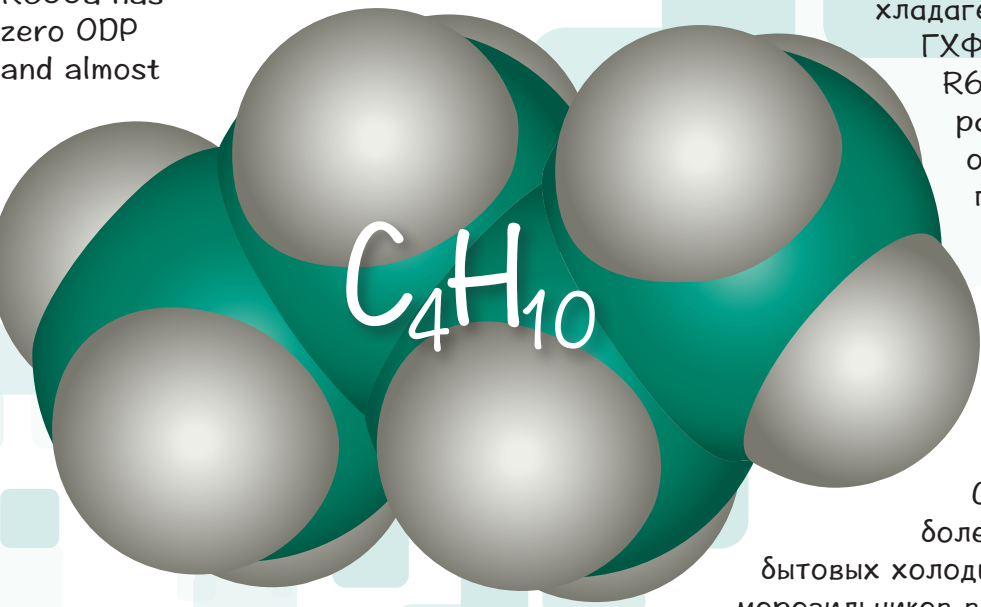


February  
Февраль

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Su/Bc |
| 2  | Mo/Пн |
| 3  | Tu/Вт |
| 4  | We/Ср |
| 5  | Th/Чт |
| 6  | Fr/Пт |
| 7  | Sa/Cδ |
| 8  | Su/Bc |
| 9  | Mo/Пн |
| 10 | Tu/Вт |
| 11 | We/Ср |
| 12 | Th/Чт |
| 13 | Fr/Пт |
| 14 | Sa/Cδ |
| 15 | Su/Bc |
| 16 | Mo/Пн |
| 17 | Tu/Вт |
| 18 | We/Ср |
| 19 | Th/Чт |
| 20 | Fr/Пт |
| 21 | Sa/Cδ |
| 22 | Su/Bc |
| 23 | Mo/Пн |
| 24 | Tu/Вт |
| 25 | We/Ср |
| 26 | Th/Чт |
| 27 | Fr/Пт |
| 28 | Sa/Cδ |



**Isobutane** Isobutene, or R 600a (a chemical compound with molecular formula  $C_4H_{10}$ ), is a possible replacement for other refrigerants in domestic refrigerators. The refrigerant R 600a has been in use in the past up to the 40's, and then replaced by chlorofluorocarbons (CFCs). It has now again found a wide popularity due to the environmental considerations. Unlike fluorocarbon refrigerants (CFC, HCFC, HFC), R600a has zero ODP and almost



negligible GWP. Isobutene is especially popular in Europe. Today more than 90% of domestic refrigerators and freezers in Germany are manufactured using R 600a as refrigerant..

**Advantages:**

- ODP (Ozone Depleting Potential) = 0
- GWP (Global Warming Potential) = 3
- Low cost
- Universal availability
- Excellent thermodynamic properties leading to high energy efficiency
- Very low operating pressure
- Small high and low pressure ratio
- Low charges allowing
- Low toxicity
- Good stability, material compatibility

**Disadvantages:**

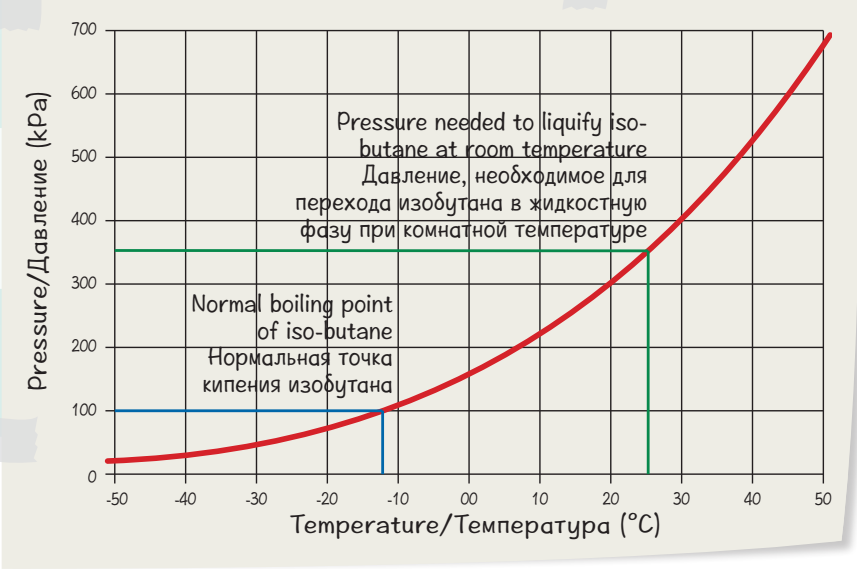
- High flammability at 1.5% - 8.5% concentration in air
- Extra costs for safety measures
- Low volumetric cooling capacity
- Requires special training of service technicians

**Изобутан** или R600a (углеводород с формулой  $C_4H_{10}$ ) используется как хладагент в бытовых холодильниках. Хладагент R600a широко применялся вплоть до 40-х годов XX века, а после был вытеснен с рынка хлорфторуглеродами (ХФУ). Новый всплеск популярности изобутана как хладагента связан с озабоченностью общества экологическими проблемами. Ведь, в отличие от фторуглеродных хладагентов (ХФУ, ГХФУ, ГФУ), R600a не

разрушает озоновый слой и практически не способствует глобальному потеплению. Особенно популярен изобутан в Европе. Сегодня более 90% бытовых холодильников и морозильников в Германии заправлены этим хладагентом.

**Преимущества:**

- ОРП (озоноразрушающий потенциал) = 0
- ПГП (потенциал глобального потепления) = 3
- Низкая стоимость
- Доступность
- Отличные термодинамические свойства, обеспечивающие высокую энергоэффективность
- Крайне низкое рабочее давление
- Малые коэффициенты высокого и низкого давления
- Малый объем заправки
- Низкая токсичность
- Стабильность, сочетаемость с различными материалами



**Недостатки:**

- Высокая воспламеняемость при концентрации в воздухе от 1,5% до 8,5%
- Требуются дополнительные меры безопасности
- Низкая объемная холодопроизводительность
- Необходимость специального обучения обслуживающего персонала безопасному обращению

March  
Март

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Su/Bc |
| 2  | Mo/Пн |
| 3  | Tu/Bт |
| 4  | We/Ср |
| 5  | Th/Чт |
| 6  | Fr/Пт |
| 7  | Sa/Cб |
| 8  | Su/Bc |
| 9  | Mo/Пн |
| 10 | Tu/Bт |
| 11 | We/Ср |
| 12 | Th/Чт |
| 13 | Fr/Пт |
| 14 | Sa/Cб |
| 15 | Su/Bc |
| 16 | Mo/Пн |
| 17 | Tu/Bт |
| 18 | We/Ср |
| 19 | Th/Чт |
| 20 | Fr/Пт |
| 21 | Sa/Cб |
| 22 | Su/Bc |
| 23 | Mo/Пн |
| 24 | Tu/Bт |
| 25 | We/Ср |
| 26 | Th/Чт |
| 27 | Fr/Пт |
| 28 | Sa/Cб |
| 29 | Su/Bc |
| 30 | Mo/Пн |
| 31 | Tu/Bт |

**CO<sub>2</sub>** or R744 was one of the earliest refrigerants, however since the introduction of CFCs its application fell out of common use. In the early 2000's it began to be considered again in retail applications due to its low GWP, interest has continued to grow and many systems have now been installed throughout the world. CO<sub>2</sub> has some properties that can be unfamiliar to refrigeration engineers; hence the design, installation and operation of CO<sub>2</sub>-based systems require special training.

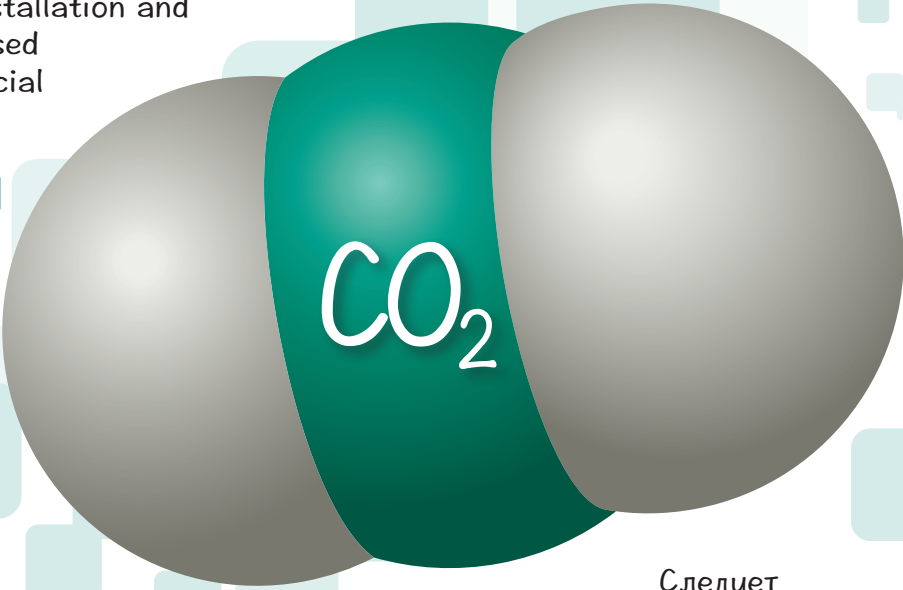
**Advantages:**

- ODP = 0
- GWP = 1
- Very low cost
- Universal availability
- Non toxicity
- Non flammability
- Relatively high continuous exposure levels of 5,000 ppm
- High Volumetric Performance
- Small compressor swept volume
- Small system piping sizes
- Good potential for heat recovery
- Good potential for energy efficiency

**Disadvantages:**

- Very high design pressures with potential safety implications
- Low critical point (+31°C)
- Relatively high triple point (-56.6°C) / 5.2 bar
- Higher capital cost
- Special precaution, equipment or procedures for long shut down periods of plants
- High density of vapour compared to air
- Little practical experience in service companies

**CO<sub>2</sub>** (диоксид углерода) или R744 — один из самых первых хладагентов, использовавшихся в системах охлаждения. С появлением ХФУ диоксид углерода как хладагент отошёл на второй план до тех пор, пока в начале 2000-х годов озабоченность общества экологическими проблемами не вызвала новый всплеск интереса к применению CO<sub>2</sub> в холодильной технике.



Следует помнить, что из-за ряда особенностей, отличающих CO<sub>2</sub> от других хладагентов, проектирование, монтаж и эксплуатация установок на диоксиде углерода требуют специальной подготовки.

**Преимущества:**

- ОРП = 0
- ПГП = 1
- Крайне низкая стоимость
- Доступность
- Нетоксичность
- Невоспламеняемость
- Относительно высокое значение ПДК при длительном воздействии — 0,5% (5000 ppm)
- Высокая объемная производительность
- Малый рабочий объем цилиндра компрессора

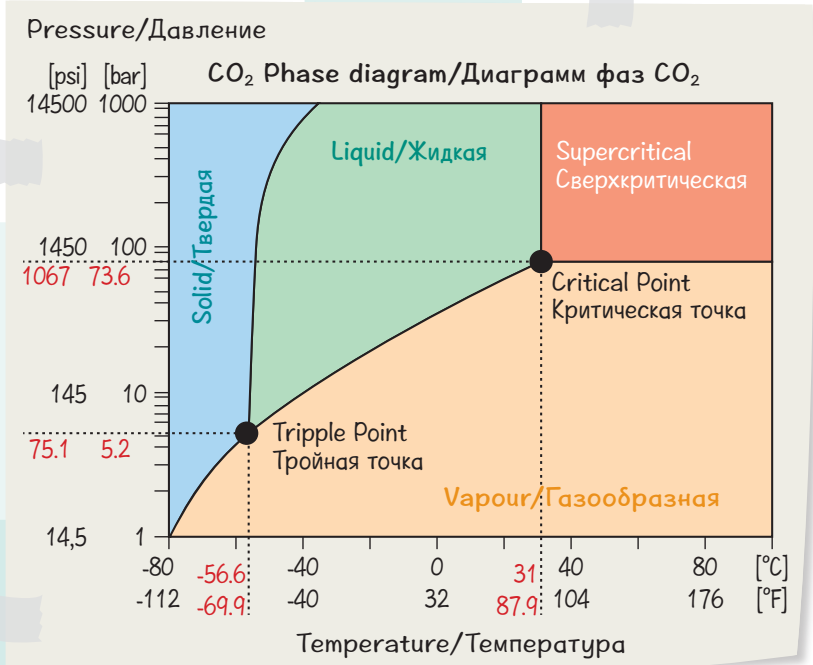
- Небольшой диаметр трубопровода
- Хороший потенциал регенерации тепла
- Энергоэффективность

**Недостатки:**

- Очень высокое рабочее давление, что представляет угрозу безопасности
- Низкая критическая точка (+31°C)
- Сравнительно высокая тройная точка (-56,6°C) / 5,2 бар
- Высокие капитальные затраты
- Особые требования к безопасности,

требуются специальное оборудование и процедуры для долгосрочных остановок

- Высокая плотность пара по сравнению с воздухом
- Отсутствие опыта работы с такими системами у обслуживающих компаний



April  
Апрель

|    |       |
|----|-------|
| 1  | We/Cp |
| 2  | Th/Чт |
| 3  | Fr/Пт |
| 4  | Sa/Cδ |
| 5  | Su/Bc |
| 6  | Mo/Пн |
| 7  | Tu/Вт |
| 8  | We/Cp |
| 9  | Th/Чт |
| 10 | Fr/Пт |
| 11 | Sa/Cδ |
| 12 | Su/Bc |
| 13 | Mo/Пн |
| 14 | Tu/Вт |
| 15 | We/Cp |
| 16 | Th/Чт |
| 17 | Fr/Пт |
| 18 | Sa/Cδ |
| 19 | Su/Bc |
| 20 | Mo/Пн |
| 21 | Tu/Вт |
| 22 | We/Cp |
| 23 | Th/Чт |
| 24 | Fr/Пт |
| 25 | Sa/Cδ |
| 26 | Su/Bc |
| 27 | Mo/Пн |
| 28 | Tu/Вт |
| 29 | We/Cp |
| 30 | Th/Чт |



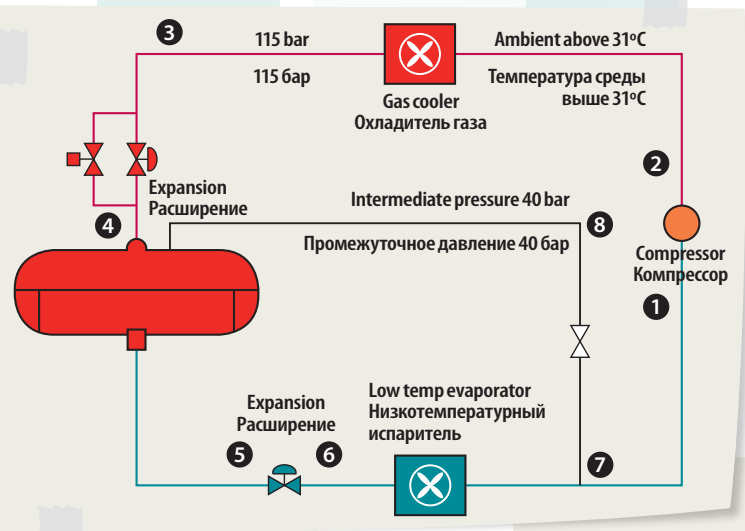
# Transcritical refrigeration systems

The critical temperature of CO<sub>2</sub> (R744) is only 31.0°C. This means that for R744 heat rejection process by condensation can only be established at temperatures up to 31°C. Considering the temperature difference needed in the heat exchanger, a practical upper limit for a heat rejection process based on condensation is reached at temperatures 5 to 10°C below the critical temperature. For many refrigeration applications, the ambient temperature will exceed a level of 25°C, making it practically impossible to reject heat by condensing carbon dioxide. However, this doesn't mean that carbon dioxide cannot be used as a refrigerant in these applications. Carbon dioxide can indeed be used as a refrigerant for these applications - but the heat rejection process from these applications must be based on a different process than condensation.

The refrigeration systems where working fluid goes through both subcritical and supercritical states are called transcritical refrigeration systems.

In simple CO<sub>2</sub> transcritical refrigeration system the compressor discharges the gas above the critical pressure of R744 (74 bar), the condenser then acts as a gas cooler and reduces the temperature of the discharge gas without condensing it into liquid. Cooled fluid passes through a pressure reduction valve, at which point a portion condenses into liquid and the rest remains as gas. Liquid and gas are separated in a flash vessel controlled by the pressure relief valve at a medium pressure. The liquid at this intermediate pressure is then distributed to the evaporator via the liquid line and expansion device. The flash gas is taken via an additional expansion device to the suction of the compressor.

Now CO<sub>2</sub> transcritical systems are used in air conditioning, heat pumps, small showcase refrigeration, supermarket refrigeration, cold storage refrigeration and etc.



May  
Май

# Транскритические холодильные системы

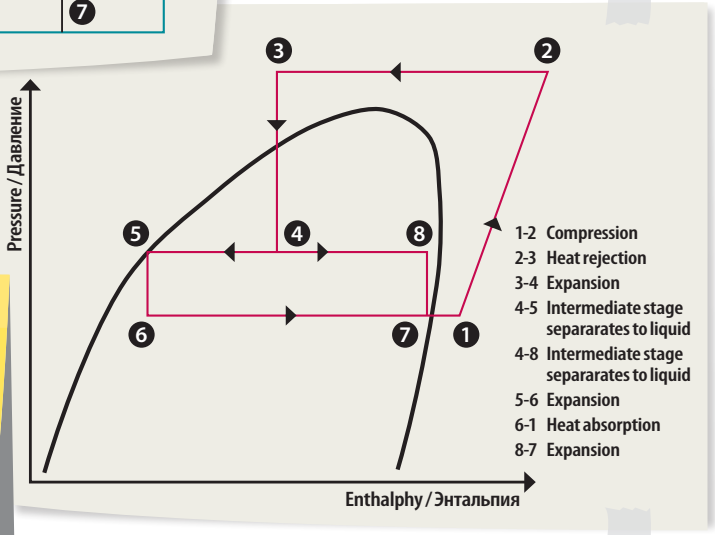
Критическая точка (максимальная температура, при которой возможно сжижение газа) для CO<sub>2</sub> (R744) составляет лишь 31,0°C. Это означает, что теплоотдача путем конденсации для этого хладагента возможна лишь при его охлаждении ниже 31°C. С учетом того, что для конденсации в теплообменнике температура окружающей среды должна быть на 5-10°C ниже критических температур, для систем на CO<sub>2</sub> конденсация прекращается при уличной температуре выше 25°C.

Значит ли это, что диоксид углерода нельзя использовать при более высоких температурах? Вовсе нет. Просто процесс теплоотдачи в подобных установках должен происходить не путем конденсации.

Холодильные системы, в которых рабочее вещество проходит и через субкритическое, и через суперкритическое состояние, называются транскритическими холодильными системами.

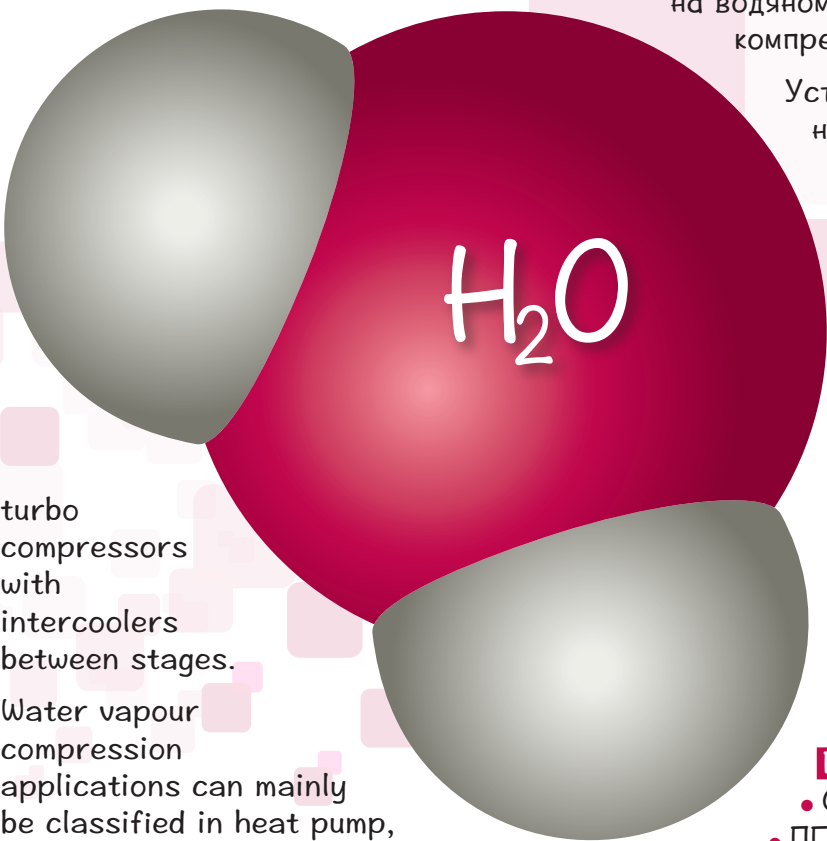
В простых транскритических холодильных установках на CO<sub>2</sub> компрессор нагнетает газ выше критического давления (74 бар), а конденсатор выступает в роли охладителя газа и снижает температуру нагнетаемого газа, не превращая его в жидкость. Охлажденный CO<sub>2</sub> проходит через редукционный клапан, и часть его конденсируется в жидкость, а часть остается в состоянии газа. Жидкость и газ разделяются в испарительной емкости, контролируемой клапаном сброса давления при среднем давлении. При этом промежуточном давлении жидкость передается в испаритель через жидкостный трубопровод и дроссельное устройство. Дроссельный газ выводится через дополнительное дроссельное устройство к всасывающему трубопроводу компрессора.

Сегодня транскритические системы на CO<sub>2</sub> используются в кондиционировании воздуха, теплонасосах, небольших витринных холодильниках, холодильном оборудовании супермаркетов, складов...



|    |       |
|----|-------|
| 1  | Fr/Пт |
| 2  | Sa/Cδ |
| 3  | Su/Bc |
| 4  | Mo/Пн |
| 5  | Tu/Бт |
| 6  | We/Ср |
| 7  | Th/Чт |
| 8  | Fr/Пт |
| 9  | Sa/Cδ |
| 10 | Su/Bc |
| 11 | Mo/Пн |
| 12 | Tu/Бт |
| 13 | We/Ср |
| 14 | Th/Чт |
| 15 | Fr/Пт |
| 16 | Sa/Cδ |
| 17 | Su/Bc |
| 18 | Mo/Пн |
| 19 | Tu/Бт |
| 20 | We/Ср |
| 21 | Th/Чт |
| 22 | Fr/Пт |
| 23 | Sa/Cδ |
| 24 | Su/Bc |
| 25 | Mo/Пн |
| 26 | Tu/Бт |
| 27 | We/Ср |
| 28 | Th/Чт |
| 29 | Fr/Пт |
| 30 | Sa/Cδ |
| 31 | Su/Bc |

**Water** (R718) is easily available and has excellent thermodynamics and chemical properties. Beside these advantages, there are technical challenges that result from its high specific volume at low temperatures. These challenges include high pressure ratios across the compressor and high compressor outlet temperatures. These challenges have been overcome by designing and manufacturing special compressors for water vapour compression applications, especially multi-stage



turbo compressors with intercoolers between stages.

Water vapour compression applications can mainly be classified in heat pump, water chiller, vacuum ice

**Вода** (R718) повсеместно распространена и обладает замечательными термодинамическими и химическими свойствами. Однако ее использование в холодильных системах сопряжено с рядом технических проблем, связанных со значительным удельным объемом при низких температурах, высокими коэффициентами давления и большой температурой на выходе из компрессора.

Решить эти проблемы можно, используя в установках, работающих на водяном паре, особые компрессоры.

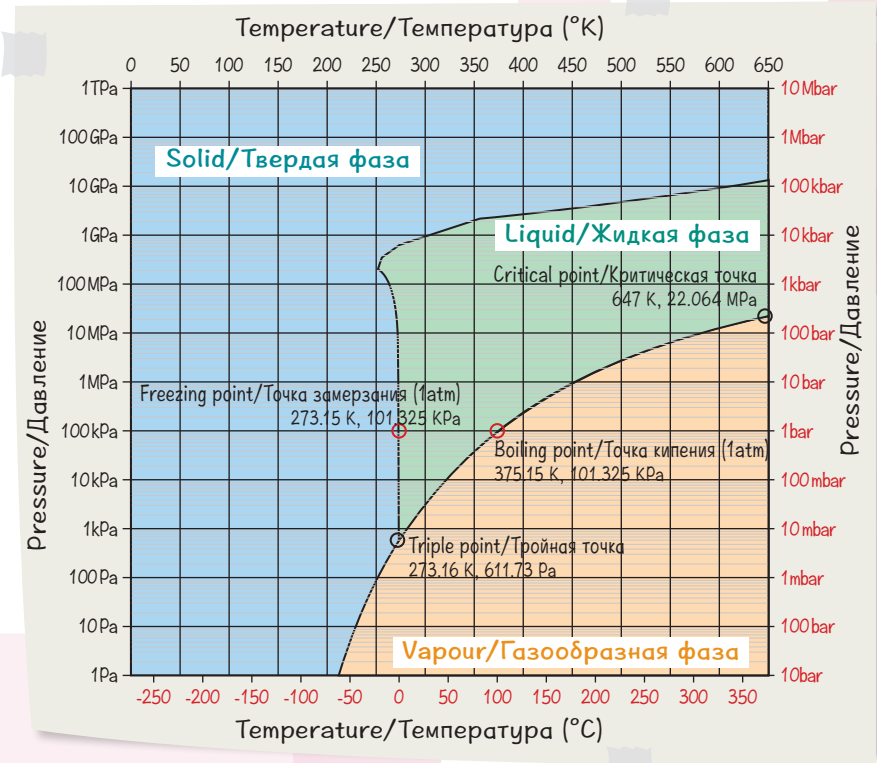
Установки, работающие на водяном паре, — это, в основном, теплонасосы, водяные чиллеры, вакуумные льдогенераторы, осушители и сепараторы. Область применения таких установок: централизованное холодоснабжение, сельское хозяйство, охлаждение газовых турбин и промышленного оборудования.

**Преимущества:**

- ОРП = 0
- ПГП = 0
- Отличные термодинамические и химические свойства
- Высокая теплота парообразования
- Простота в обращении
- Нетоксичность
- Невоспламеняемость
- Широкая доступность

**Недостатки:**

- Низкая расчетная холодопроизводительность
- Низкая плотность в газообразном состоянии
- Большой объемный расход
- Высокий



production, drying and separation. The application range also includes the applications for district cooling (thermal storage and chilled water), agriculture, gas turbine inlet cooling and industrial process cooling.

**Advantages:**

- ODP = 0
- GWP = 0
- Excellent thermodynamic and chemical properties
- High evaporation heat
- Simple handling
- Non toxicity
- Non flammability
- Non-limited availability

**Disadvantages:**

- Low specific cooling capacity
- Low density in the gaseous state
- High volume flow
- High pressure ratio
- High compressor outlet temperature

- коэффициент давления
- Высокая температура на выходе из компрессора



|    |       |
|----|-------|
| 1  | Mo/Пн |
| 2  | Tu/Вт |
| 3  | We/Ср |
| 4  | Th/Чт |
| 5  | Fr/Пт |
| 6  | Sa/Сб |
| 7  | Su/Вс |
| 8  | Mo/Пн |
| 9  | Tu/Вт |
| 10 | We/Ср |
| 11 | Th/Чт |
| 12 | Fr/Пт |
| 13 | Sa/Сб |
| 14 | Su/Вс |
| 15 | Mo/Пн |
| 16 | Tu/Вт |
| 17 | We/Ср |
| 18 | Th/Чт |
| 19 | Fr/Пт |
| 20 | Sa/Сб |
| 21 | Su/Вс |
| 22 | Mo/Пн |
| 23 | Tu/Вт |
| 24 | We/Ср |
| 25 | Th/Чт |
| 26 | Fr/Пт |
| 27 | Sa/Сб |
| 28 | Su/Вс |
| 29 | Mo/Пн |
| 30 | Tu/Вт |



**R1234yf** (tetrafluoropropene with the formula  $\text{CH}_2=\text{CFCF}_3$ ) is a refrigerant developed jointly by Honeywell and DuPont™. R1234yf is a next-generation HFO refrigerant that combines environmental benefits with excellent cooling performance. It has been proposed as a replacement for R-134a as a refrigerant in automobile air conditioners. R1234yf has been comprehensively tested and shown to be a reliable, cost-efficient solution.

**Advantages:**

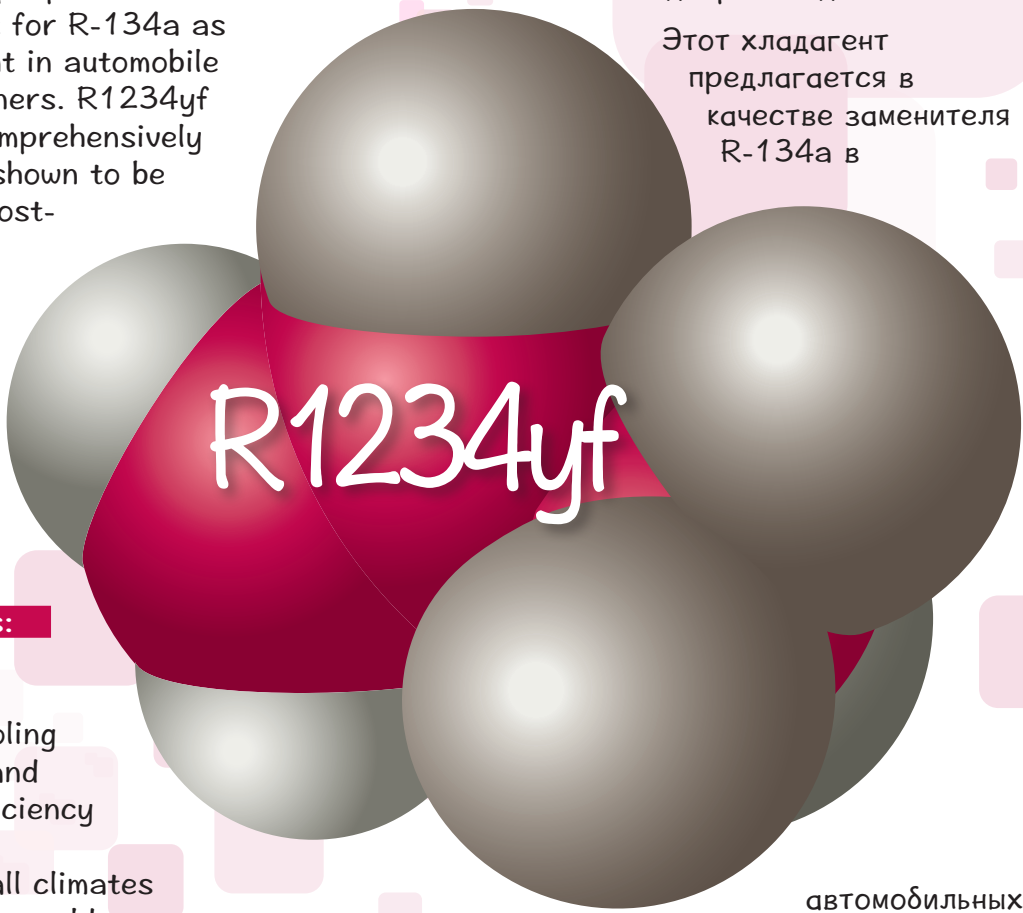
- ODP = 0
- GWP = 4
- Similar cooling capacity and energy efficiency to R134a
- Suited to all climates across the world
- Low toxicity

**Disadvantages:**

- Mild flammability at 6.2% - 12.3% concentration in air
- High initial cost
- Extra costs for safety measures
- Requires special training of service technicians

**R1234yf** (тетрафторпропан,  $\text{CH}_2=\text{CFCF}_3$ ) — это хладагент, совместно разработанный компаниями Honeywell и DuPont™. Производители относят его к особой группе веществ — гидрофторолефинам (ГФО), сочетающим экологичность с высокой холодопроизводительностью.

Этот хладагент предлагается в качестве заменителя R-134a в



автомобильных кондиционерах. Он прошел всесторонние испытания, показавшие его надежность и рентабельность.

**Преимущества:**

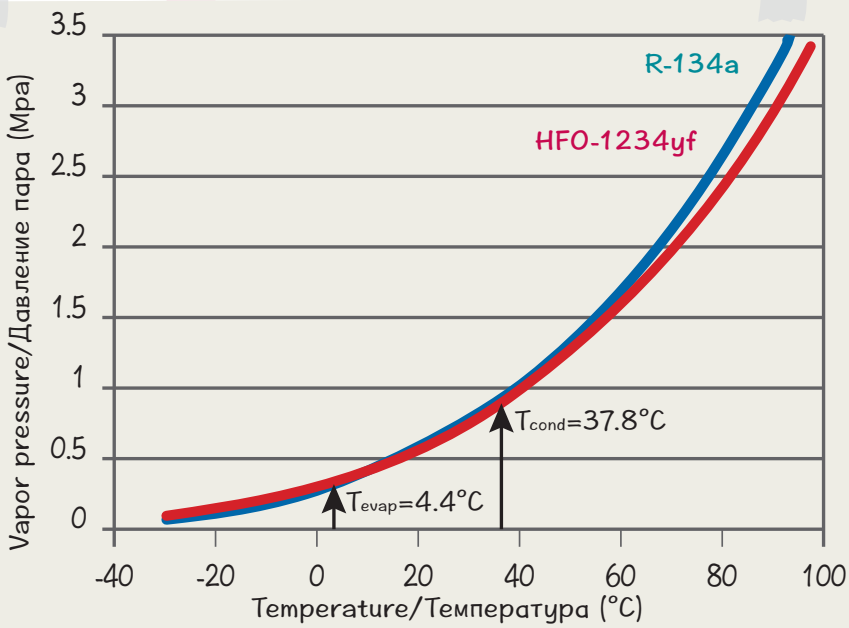
- ОРП = 0
- ПГП = 4
- Холодопроизводительность и энергоэффективность сравнимы с R134a

- Подходит для применения во всех климатических условиях
- Низкий уровень токсичности

**Недостатки:**

- Средняя воспламеняемость при концентрации в воздухе от 6.2% до 12.3%
- Высокая стоимость
- Дополнительные затраты на меры безопасности
- Необходимость

в специальном учебном курсе по вопросам безопасности для персонала



|    |       |
|----|-------|
| 1  | We/Cp |
| 2  | Th/Чт |
| 3  | Fr/Пт |
| 4  | Sa/Cδ |
| 5  | Su/Bc |
| 6  | Mo/Пн |
| 7  | Tu/Вт |
| 8  | We/Cp |
| 9  | Th/Чт |
| 10 | Fr/Пт |
| 11 | Sa/Cδ |
| 12 | Su/Bc |
| 13 | Mo/Пн |
| 14 | Tu/Вт |
| 15 | We/Cp |
| 16 | Th/Чт |
| 17 | Fr/Пт |
| 18 | Sa/Cδ |
| 19 | Su/Bc |
| 20 | Mo/Пн |
| 21 | Tu/Вт |
| 22 | We/Cp |
| 23 | Th/Чт |
| 24 | Fr/Пт |
| 25 | Sa/Cδ |
| 26 | Su/Bc |
| 27 | Mo/Пн |
| 28 | Tu/Вт |
| 29 | We/Cp |
| 30 | Th/Чт |
| 31 | Fr/Пт |



# Solar cooling

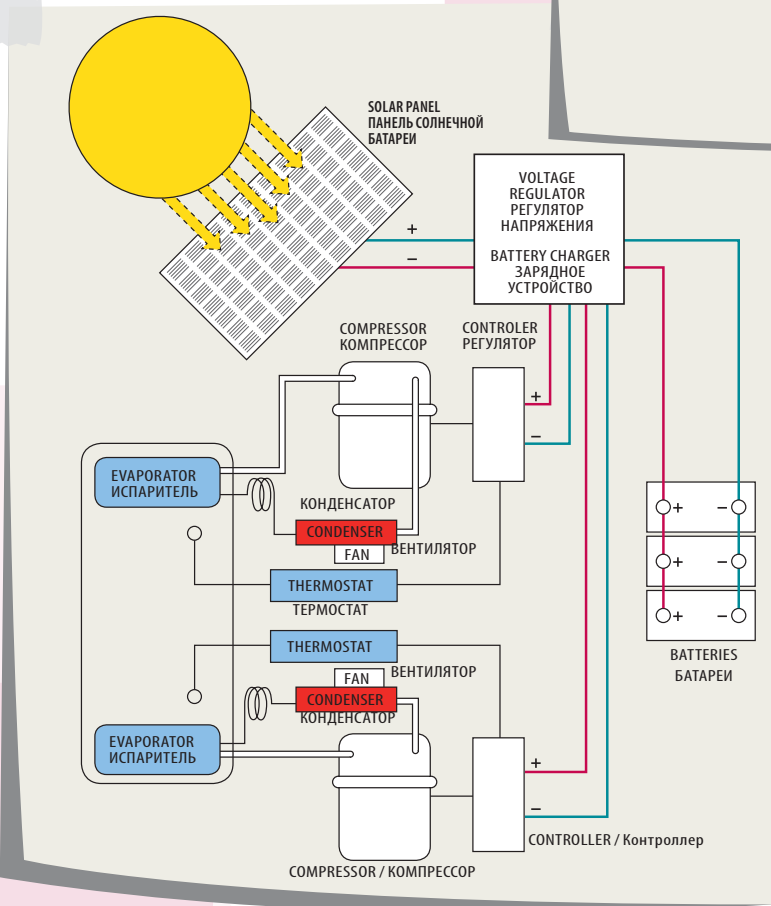
From a sustainability perspective, directly using solar as a primary energy source is attractive.

The power from the sun intercepted by the earth is much larger than the present consumption rate on the earth of all commercial energy sources. Thus, in principle, solar energy could supply all the present and future energy needs of the world on the continuing basis. Besides, it is an environmentally clean source of energy, it is free and available in adequate quantities in almost all parts of the world where people live. However, there are problems associated with its use. It is a diluted source of energy and its availability varies widely with time. Consequently some form of redundancy or energy storage (electrical or thermal) is required for most applications, which further adds to the system size and cost.

Two groups of solar-driven refrigeration systems can be classified, depending on the type of energy converters, e.g. PV-electricity-driven and solar-thermal-driven.

Photovoltaics (PV) involve the direct conversion of solar radiation to electricity using semiconducting materials. Solar photovoltaic panels produce electrical power that can be used to operate a motor, which is coupled to the compressor of a vapor compression refrigeration system.

The solar thermal-driven air conditioning cycles can be based on absorption cycles, adsorption cycles, duplex rankine, desiccant cooling cycles, or ejector refrigeration cycles.



The COP is low for all types of solar refrigeration systems. However, this definition of efficiency may not be the most relevant metric for a solar refrigeration system because the fuel that drives the system during operation, solar energy, is free.

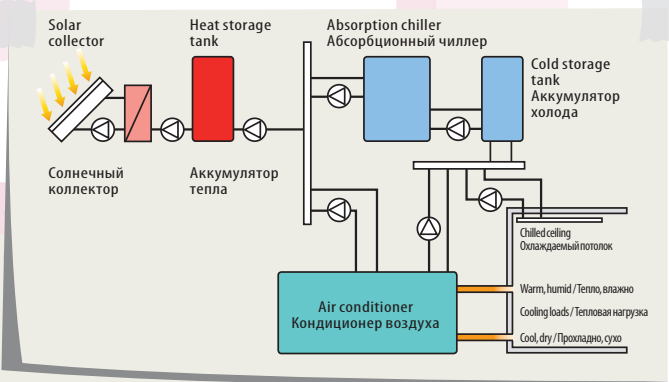
# Солнечное охлаждение

С точки зрения устойчивого развития использование солнечного излучения в качестве первичного источника энергии очень привлекательно.

Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, намного превышает нынешний уровень энергопотребления. То есть солнце способно удовлетворить все текущие и будущие энергетические нужды планеты. При этом солнечная энергия экологически чиста, бесплатна и доступна практически везде, где проживают люди.

Однако ее использование затруднено, прежде всего, ее рассеянностью и неравномерностью количества поступающей энергии с течением времени, что требует создания запаса полученной энергии (в электрической или тепловой форме), а это увеличивает стоимость и размер системы.

Различают две группы солнечных систем охлаждения, в зависимости от типа преобразования энергии: фотоэлектрические и солнечно-тепловые. В системах фотоэлектрического типа происходит прямое преобразование солнечной энергии в электричество с использованием полупроводников. Затем электричество используется для приведения в движение компрессора холодильной установки.



В солнечно-тепловых системах могут применяться абсорбционные и адсорбционные циклы, дуплекс-циклы Ренкина, влагопоглощающие или эжекторные принципы охлаждения.

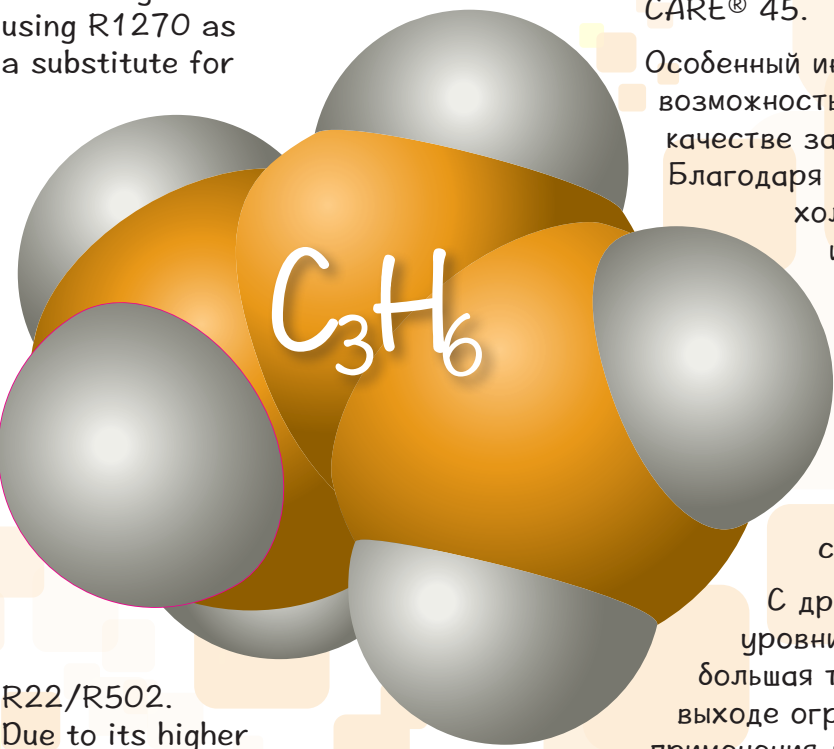
КПД всех типов солнечных систем охлаждения низок. Однако это не так важно, поскольку топливо, на котором они работают, то есть, солнечная энергия, — даровое.

August  
Август

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Sa/Cδ |
| 2  | Su/Bc |
| 3  | Mo/Пн |
| 4  | Tu/Вт |
| 5  | We/Ср |
| 6  | Th/Чт |
| 7  | Fr/Пт |
| 8  | Sa/Cδ |
| 9  | Su/Bc |
| 10 | Mo/Пн |
| 11 | Tu/Вт |
| 12 | We/Ср |
| 13 | Th/Чт |
| 14 | Fr/Пт |
| 15 | Sa/Cδ |
| 16 | Su/Bc |
| 17 | Mo/Пн |
| 18 | Tu/Вт |
| 19 | We/Ср |
| 20 | Th/Чт |
| 21 | Fr/Пт |
| 22 | Sa/Cδ |
| 23 | Su/Bc |
| 24 | Mo/Пн |
| 25 | Tu/Вт |
| 26 | We/Ср |
| 27 | Th/Чт |
| 28 | Fr/Пт |
| 29 | Sa/Cδ |
| 30 | Su/Bc |
| 31 | Mo/Пн |

**R1270** is the common name for high purity propene/propylene ( $C_3H_6$ ) suitable for use in the refrigeration and air conditioning industry. It is also known as CARE® 45.

For some time there has also been increasing interest in using R1270 as a substitute for



R22/R502. Due to its higher volumetric refrigeration capacity and lower boiling temperature (compared to R290) applications in medium and low temperature systems, e.g. liquid chillers for supermarkets, are of particular interest.

On the other hand, higher pressure levels (>20%) and discharge gas temperatures have to be taken into consideration, thus restricting the possible application range. As other hydrocarbon refrigerants R1270 also belongs to the group of extremely flammable refrigerants. Therefore the handling and use of R1270 requires adequate safety measures.

**Advantages:**

- ODP = 0
- GWP <2
- Low cost
- Universal availability
- Excellent thermodynamic properties leading to high energy efficiency
- High vapour heat capacity
- High volumetric refrigeration capacity
- Low charges allowing
- Low toxicity
- Good stability, material compatibility

**Disadvantages:**

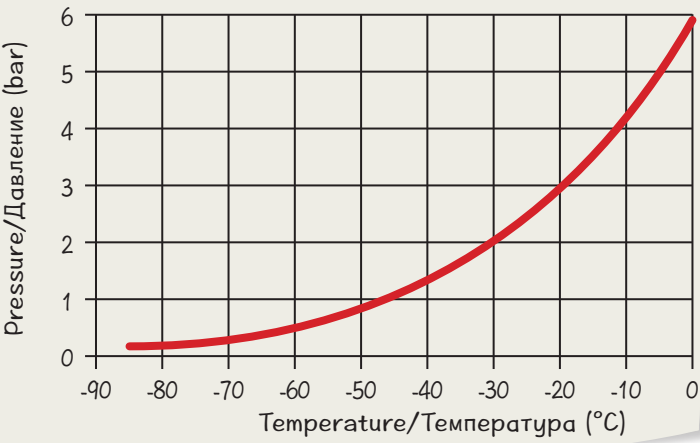
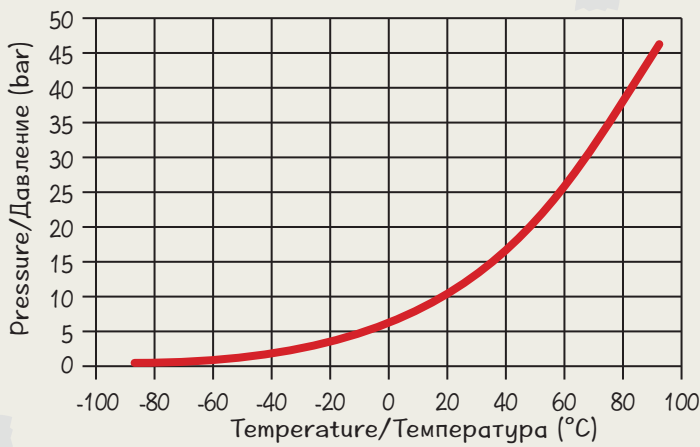
- High flammability at 1.8% - 11% concentration in air
- Extra costs for safety measures
- Requires special training of service technicians

**R1270** – это распространенное название пропен/пропилена высокой чистоты ( $C_3H_6$ ), который подходит для применения в холодильном оборудовании и системах кондиционирования воздуха. Этот хладагент также известен как CARE® 45.

Особенный интерес к R1270 вызван возможностью его использования в качестве заменителя R22/R502. Благодаря более высокой объемной холодопроизводительности и низкой температуре кипения (по сравнению с R290), R1270 идеально подходит для средне- и низкотемпературных систем, таких, как chillеры в супермаркетах.

С другой стороны, высокие уровни давления (>20%) и большая температура газа на выходе ограничивают спектр применения данного хладагента.

Кроме того, R1270, подобно другим углеводородным хладагентам, огнеопасен, поэтому обращение с ним требует принятия мер безопасности.



**Преимущества:**

- ОРП = 0
- ПГП <2
- Низкая стоимость
- Общедоступность
- Отличные термодинамические свойства, обеспечивающие высокую энергоэффективность
- Высокая теплоемкость пара
- Высокая объемная холодопроизводительность
- Малый объем заправки
- Низкая токсичность
- Стабильность, сочетаемость с различными материалами

**Недостатки:**

- Высокая воспламеняемость при концентрации в воздухе от 1,8% до 11%
- Дополнительные затраты на меры по обеспечению безопасности
- Необходимость в специальном обучении обслуживающего персонала безопасному обращению

September  
Сентябрь

1 Tu/Bt

2 We/Cp

3 Th/Чт

4 Fr/Пт

5 Sa/Cδ

6 Su/Bc

7 Mo/Пн

8 Tu/Bt

9 We/Cp

10 Th/Чт

11 Fr/Пт

12 Sa/Cδ

13 Su/Bc

14 Mo/Пн

15 Tu/Bt

16 We/Cp

17 Th/Чт

18 Fr/Пт

19 Sa/Cδ

20 Su/Bc

21 Mo/Пн

22 Tu/Bt

23 We/Cp

24 Th/Чт

25 Fr/Пт

26 Sa/Cδ

27 Su/Bc

28 Mo/Пн

29 Tu/Bt

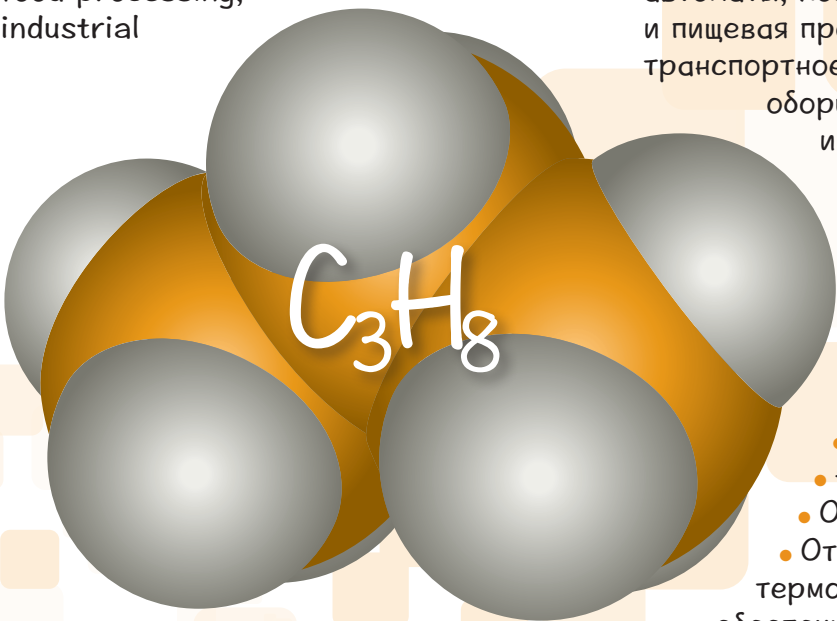
30 We/Cp



**Propane** gas is often used as a fuel source, but it is also a refrigerant. The refrigerant industry classifies Propane as R290.

Propane is a natural substance with a chemical formula of  $C_3H_8$ .

R290 has a wide range of applications. This includes commercial refrigeration, chill cabinets and vending machines, cold storage and food processing, industrial



refrigeration, transport refrigeration, small air conditioning systems, large air conditioning and chiller systems, heat pumps and water heaters.

**Advantages:**

- ODP = 0
- GWP = 3
- Low cost
- Universal availability
- Excellent thermodynamic properties leading to high energy efficiency
- High vapour heat capacity
- Low discharge temperature
- Low operating pressure
- Low charges
- Low toxicity, well-known hazards
- Good stability, material compatibility

**Disadvantages:**

- High flammability at 2% - 10% concentration in air
- Extra costs for safety measures
- Requires special training of service technicians

**Пропан** применяется не только в качестве топлива, но и как хладагент. В холодильной индустрии пропану присвоено обозначение R290.

Это природное вещество с химической формулой  $C_3H_8$ .

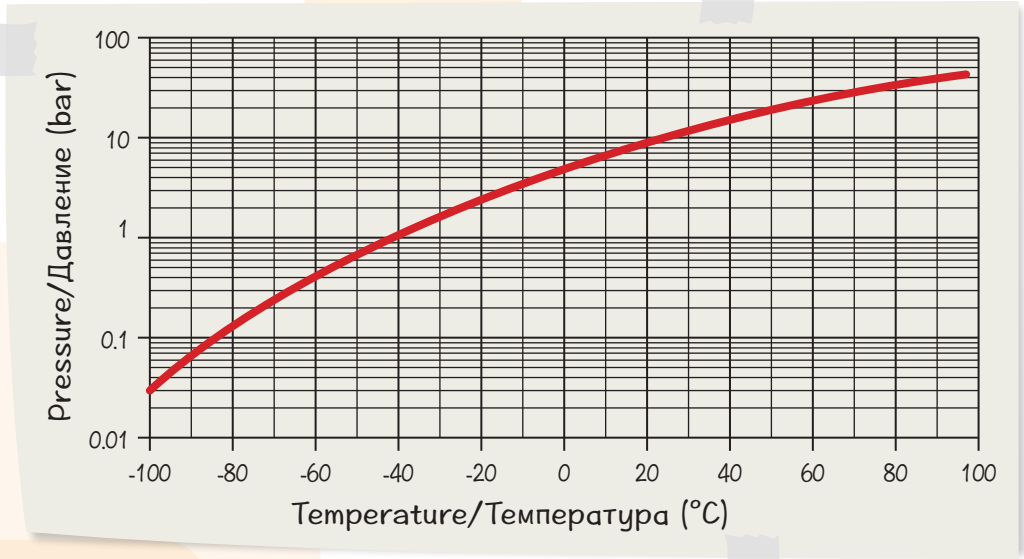
R290 имеет широкий спектр применения: коммерческое охлаждение, прилавки для охлажденных продуктов и торговые автоматы, холодильные склады и пищевая промышленность, транспортное холодильное оборудование, малые и большие системы кондиционирования воздуха, чиллеры, теплонасосы и водонагреватели.

**Преимущества:**

- ОРП = 0
- ПГП = 3
- Низкая стоимость
- Общедоступность
- Отличные термодинамические свойства, обеспечивающие высокую энергоэффективность
- Высокая теплоемкость пара
- Низкая температура нагнетания
- Низкое рабочее давление
- Малый объем заправки
- Низкая токсичность, хорошо известные факторы риска
- Стабильность, сочетаемость с различными материалами

**Недостатки:**

- Высокая воспламеняемость при концентрации в воздухе от 2% до 10%
- Дополнительные затраты на меры по обеспечению безопасности
- Необходимость в специальном обучении обслуживающего персонала безопасному обращению



October  
Октябрь

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Th/Чт |
| 2  | Fr/Пт |
| 3  | Sa/Сб |
| 4  | Su/Вс |
| 5  | Mo/Пн |
| 6  | Tu/Вт |
| 7  | We/Ср |
| 8  | Th/Чт |
| 9  | Fr/Пт |
| 10 | Sa/Сб |
| 11 | Su/Вс |
| 12 | Mo/Пн |
| 13 | Tu/Вт |
| 14 | We/Ср |
| 15 | Th/Чт |
| 16 | Fr/Пт |
| 17 | Sa/Сб |
| 18 | Su/Вс |
| 19 | Mo/Пн |
| 20 | Tu/Вт |
| 21 | We/Ср |
| 22 | Th/Чт |
| 23 | Fr/Пт |
| 24 | Sa/Сб |
| 25 | Su/Вс |
| 26 | Mo/Пн |
| 27 | Tu/Вт |
| 28 | We/Ср |
| 29 | Th/Чт |
| 30 | Fr/Пт |
| 31 | Sa/Сб |

# NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> cascade system

Carbon dioxide has many advantages as a natural refrigerant. It is non-flammable, inexpensive and abundant. It has great evaporating latent heat and refrigeration capacity per unit. Its kinetic viscosity is low and it's in harmony with common lubricant.

Main disadvantages of carbon dioxide as a refrigerant are the high system pressure for air-conditioning, more than 100 bar, high triple point 5.2 bar/(- 56°C) and low critical temperature 31°C/ 73.6 bar.

Ammonia as a refrigerant has advantageous thermodynamic properties. But it is flammable, toxic and incompatible with ordinary mineral lubricant. If there exists some water vapor in the system, ammonia becomes corrosive to copper, so the heat transfer tubes must use steel tube. The capability of heat transfer of steel is not as good as that of the copper, which increases the heat transfer area and the weight of the system.

The disadvantages of ammonia as a refrigerant can be overcome by NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> double working fluids two-stage (cascade) refrigeration system. This refrigeration system minimizes the charge quantity for NH<sub>3</sub> by filling only in the high-temperature stage, using CO<sub>2</sub> as a boiling secondary refrigerant/coolant in the low-temperature stage and possible to keep NH<sub>3</sub> away from safety requiring areas.

# Каскадная система NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>

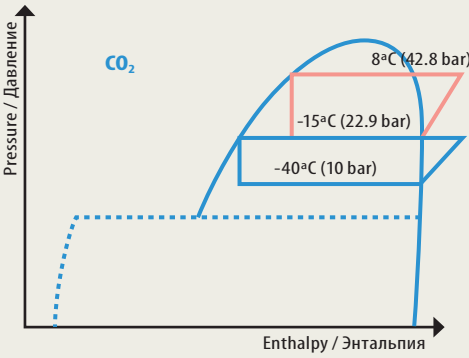
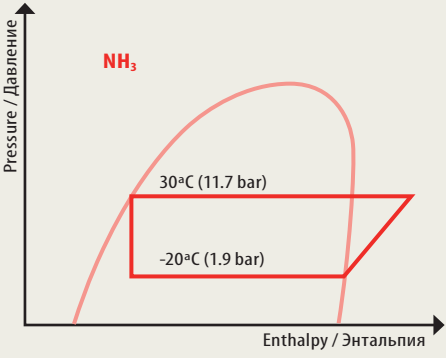
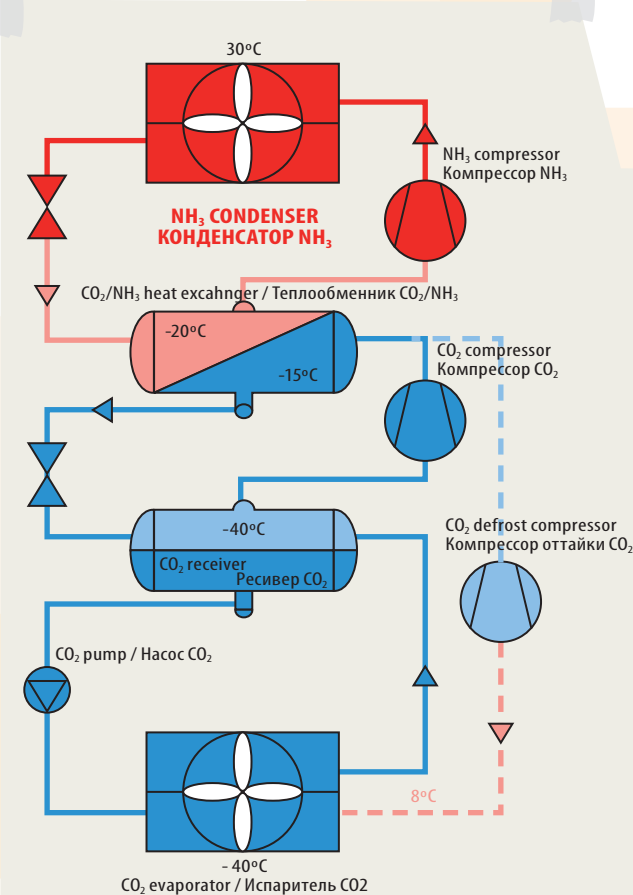
Натуральный хладагент диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) имеет ряд значительных преимуществ. Он неогнеопасен, недорог и общедоступен, обладает значительной латентной теплотой и холодопроизводительностью, низким коэффициентом кинематической вязкости, сочетается с общеизвестными смазочными материалами.

Основными недостатками диоксида углерода в качестве хладагента являются высокое (более 100 бар) давление внутри системы кондиционирования воздуха, высокая тройная точка и низкая критическая температура.

Аммиак (NH<sub>3</sub>) в качестве хладагента обладает подходящими термодинамическими свойствами. Однако наряду с этим он воспламеняем, токсичен и несовместим с обычными минеральными смазочными материалами. Если в системе появляется водяной пар, аммиак начинает разъедать медь, поэтому для передачи тепла следует применять стальные трубки. Теплопроводность стали не так велика, как у меди, и это приводит к увеличению поверхности теплообмена и веса системы.

Один из способов решения проблем, связанных с вышеописанными особенностями хладагентов, является двухступенчатая (каскадная) система охлаждения с двумя рабочими веществами NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>.

В подобных системах снижен объем заправки NH<sub>3</sub> (им заполнен лишь высокотемпературный отсек), применение CO<sub>2</sub> в качестве кипящего вторичного хладагента в низкотемпературном отсеке позволяет избежать присутствия аммиака на опасных участках.

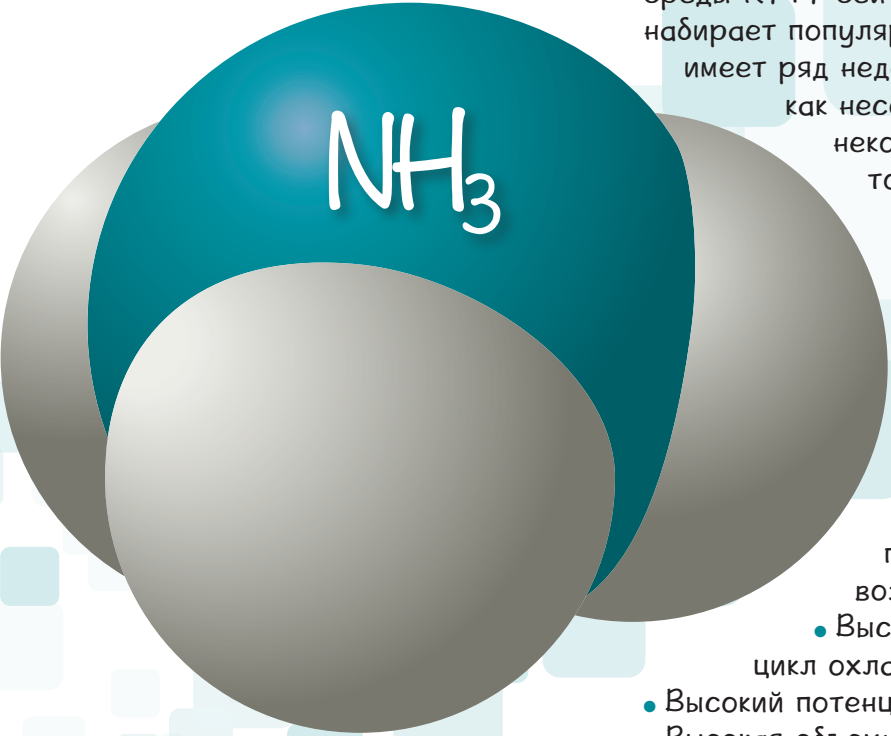


November  
Ноябрь

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Su/Bc |
| 2  | Mo/Пн |
| 3  | Tu/Вт |
| 4  | We/Ср |
| 5  | Th/Чт |
| 6  | Fr/Пт |
| 7  | Sa/Сб |
| 8  | Su/Bc |
| 9  | Mo/Пн |
| 10 | Tu/Вт |
| 11 | We/Ср |
| 12 | Th/Чт |
| 13 | Fr/Пт |
| 14 | Sa/Сб |
| 15 | Su/Bc |
| 16 | Mo/Пн |
| 17 | Tu/Вт |
| 18 | We/Ср |
| 19 | Th/Чт |
| 20 | Fr/Пт |
| 21 | Sa/Сб |
| 22 | Su/Bc |
| 23 | Mo/Пн |
| 24 | Tu/Вт |
| 25 | We/Ср |
| 26 | Th/Чт |
| 27 | Fr/Пт |
| 28 | Sa/Сб |
| 29 | Su/Bc |
| 30 | Mo/Пн |



**Ammonia** R717 has been used as a refrigerant for over 100 years. Even during the period of strong growth in use of synthetic fluorocarbon refrigerants, it remained popular for a range of applications due to its excellent thermodynamic properties and low cost. However, due to its low environmental impact, R717 is now regaining popularity when an alternative to



fluorocarbons is being sought. However, it has a number of drawbacks that have so far prevented the use of ammonia for commercial applications, e.g. material compatibility, toxicity, and flammability.

**Advantages:**

- ODP = 0
- GWP = 0
- Very low cost
- Universal availability
- Low density of vapour compared to air
- High efficiency of the refrigeration cycle
- High heat transfer capacity
- High Volumetric Performance
- Low operating pressure
- Strong odor which serves as effective alarm for leaks
- Small system piping sizes
- Well known refrigerant in the industry

**Disadvantages:**

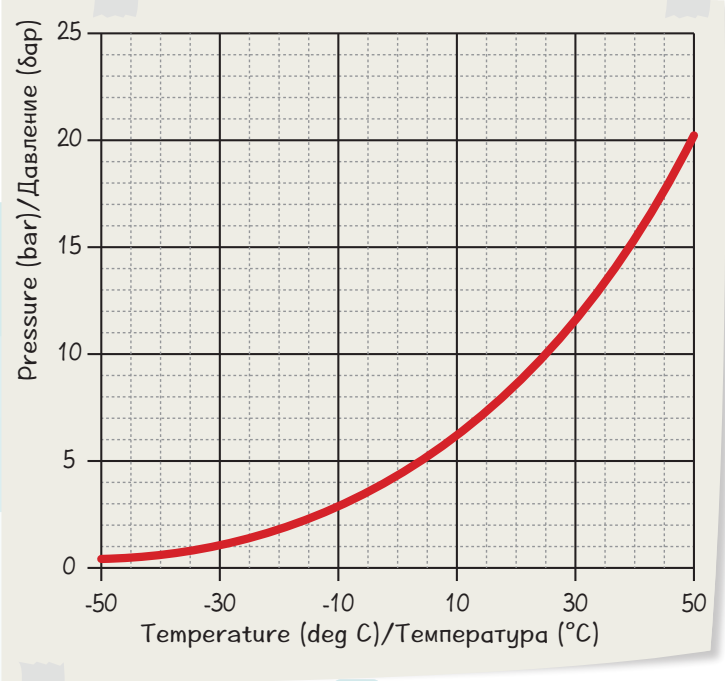
- Toxicity over 25 ppm concentration
- Flammability at 16% - 25% concentration in air
- Explosive in the presence of mineral oils
- Low miscibility with compressor oil
- High discharge pressure
- Need of use water cooled or evaporative condensers
- High reactivity to copper in the presence of water
- Requires special training for an emergency

**Аммиак** (NH<sub>3</sub>) или R717 — используется в качестве хладагента вот уже более 100 лет. Даже в период господства синтетических фторуглеродных хладагентов он продолжал использоваться в ряде установок, благодаря своим термодинамическим свойствам и низкой стоимости.

Из-за безопасности для окружающей среды R717 сейчас заново набирает популярность. Однако он имеет ряд недостатков, таких, как несовместимость с некоторыми материалами, токсичность и воспламеняемость.

**Преимущества:**

- ОРП = 0
- ПГП = 0
- Очень низкая стоимость
- Общедоступность
- Низкая плотность пара по сравнению с воздухом
- Высокоэффективный цикл охлаждения
- Высокий потенциал теплопередачи
- Высокая объемная производительность
- Низкое рабочее давление
- Сильный запах, который служит эффективным индикатором утечки
- Небольшой диаметр трубопровода
- Большой опыт использования в промышленном секторе



**Недостатки:**

- Токсичен при концентрации более 25 частей/млн
- Воспламеняем при концентрации в воздухе от 16% до 25%
- Взрывоопасен в присутствии минеральных масел
- Плохо смешивается с компрессорным маслом
- Высокое давление нагнетания
- Необходимо использовать конденсаторы с водяным охлаждением или испарительные конденсаторы
- Вступает в реакцию с медью в присутствии воды
- Необходима особая подготовка персонала на случай чрезвычайных ситуаций

|    |       |
|----|-------|
| 1  | Tu/Bt |
| 2  | We/Cp |
| 3  | Th/Ct |
| 4  | Fr/Pt |
| 5  | Sa/Cδ |
| 6  | Su/Bc |
| 7  | Mo/Пн |
| 8  | Tu/Bt |
| 9  | We/Cp |
| 10 | Th/Ct |
| 11 | Fr/Pt |
| 12 | Sa/Cδ |
| 13 | Su/Bc |
| 14 | Mo/Пн |
| 15 | Tu/Bt |
| 16 | We/Cp |
| 17 | Th/Ct |
| 18 | Fr/Pt |
| 19 | Sa/Cδ |
| 20 | Su/Bc |
| 21 | Mo/Пн |
| 22 | Tu/Bt |
| 23 | We/Cp |
| 24 | Th/Ct |
| 25 | Fr/Pt |
| 26 | Sa/Cδ |
| 27 | Su/Bc |
| 28 | Mo/Пн |
| 29 | Tu/Bt |
| 30 | We/Cp |
| 31 | Th/Ct |

December  
Декабрь