



## **Системы охлаждения на CO<sub>2</sub> для продовольственных магазинов розничной торговли**

**Проектирование транскритических и субкритических систем на CO<sub>2</sub> и подбор необходимого оборудования, производимого компанией «Данфосс»**



## Содержание

## Страница

Назначение данного руководства.....	3
Характеристики CO <sub>2</sub> .....	3
Использование CO <sub>2</sub> в качестве хладагента.....	4
1. Газоохладитель и промежуточный ресивер.....	6
1.1. Общее описание.....	6
1.2.1. Управление газоохладителем при помощи ЕКС 326.....	8
1.2.2. Газоохладитель с водяным охлаждением.....	9
1.3. Газоохладитель с воздушным охлаждением.....	9
1.4. Выводы.....	12
2. Каскадный теплообменник.....	13
2.1. Общее описание.....	13
2.2. Каскадный теплообменник стандартного исполнения.....	13
2.3. Каскадный теплообменник с промежуточным сосудом.....	14
2.4. Каскадный теплообменник с вторичным охлаждением.....	15
2.5. Выводы.....	15
3. Ресивер низкого давления/Отделитель жидкости.....	16
3.1. Виды каскадных систем.....	16
3.2. Виды систем с непосредственным кипением хладагента.....	16
3.3. Системы с насосной подачей.....	17
3.4. Комбинированные системы.....	19
3.5. Выводы.....	19
4. Испарители.....	20
4.1. Испарители затопленного типа (насосная циркуляция).....	20
4.2. Непосредственное кипение.....	21
4.3. Выводы.....	23
5. Компрессоры.....	24
5.1. Типы компрессоров и оборудование аварийной защиты.....	24
5.2. Регулирование производительности.....	24
5.3. Необходимое оборудование.....	26
5.4. Полный контроль.....	28
6. Системы в режиме остановки.....	29
6.1. Общее описание.....	29
6.2. Вспомогательная система охлаждения.....	30
6.3. Выпуск CO <sub>2</sub> .....	30
6.4. Расширительный ресивер для CO <sub>2</sub> .....	31
6.5. Выводы.....	32
7. Рекуперация тепла для систем на CO <sub>2</sub> .....	33
7.1. Общее описание.....	33
7.2. Рекуперация тепла (тепловой насос), простая система.....	33
7.3. Частичная рекуперация тепла.....	34
7.4. Выводы.....	35
8. Каскадные системы на CO <sub>2</sub> .....	36
8.1. Введение.....	36
8.2. Температура и давление в каскадных системах.....	36
8.3. Последовательность операций в работе каскадной системы.....	37
8.4. Инжекция в каскадный теплообменник.....	37
8.5. Электронное управление каскадных систем.....	38
8.5.1. Каскадные системы на CO <sub>2</sub> с непосредственным кипением и насосной подачей.....	38
8.5.2. Использование каскадной системы в комбинации с рассольной системой.....	39
9. Простая конструкция транскритической системы для применения в секторе продовольственной торговли.....	41
9.1. Общее описание.....	41
9.2. Система с автоматическим клапаном.....	42
9.3. Система с термостатическим расширительным клапаном.....	42
9.4. Система с электронным расширительным клапаном.....	44
9.5. Выводы.....	44
10. Транскритическая бустерная система.....	45
10.1. Общее описание.....	45
10.2. Транскритическая каскадная система.....	46
10.3. Транскритическая бустерная система.....	47



**Назначение данного руководства**

За последние годы важность CO<sub>2</sub> как хладагента в секторе продовольственной торговли заметно выросла. Наиболее важно при этом то, что CO<sub>2</sub> один из немногих хладагентов для холодильных систем продовольственной торговли, которые перспективны с точки зрения безопасности и безвредности для окружающей среды.

Цель данного руководства - сделать обзор типичных конструкций систем на CO<sub>2</sub> как для транскритических, так и для субкритических применений. Кроме того, данный документ служит в качестве справочника по оборудованию, производимому компанией Данфосс, для применения в холодильных системах на CO<sub>2</sub>. Это руководство было написано для инженеров, которые начинают изучать системы, работающие на CO<sub>2</sub>.

Первые 7 глав данного руководства описывают

отдельные узлы системы на CO<sub>2</sub>. Главы с 8 по 10 посвящены общему описанию системы в целом.

Необходимо упомянуть, что данное руководство нельзя рассматривать в качестве проектной документации для систем на CO<sub>2</sub>.

Для подбора компонентов системы при проектировании мы рекомендуем использовать специальные программы расчёта такие, как DIRcal™, технические описания для этих компонентов, а также другую соответствующую литературу или программы, которые значительно облегчат эту работу. Если у Вас есть какие-нибудь вопросы, обращайтесь в местное представительство компании «Данфосс».

Дополнительную информацию можно найти в

Интернете по адресу:

[www.danfoss.com/CO<sub>2</sub>](http://www.danfoss.com/CO2)

**Характеристики CO<sub>2</sub>**

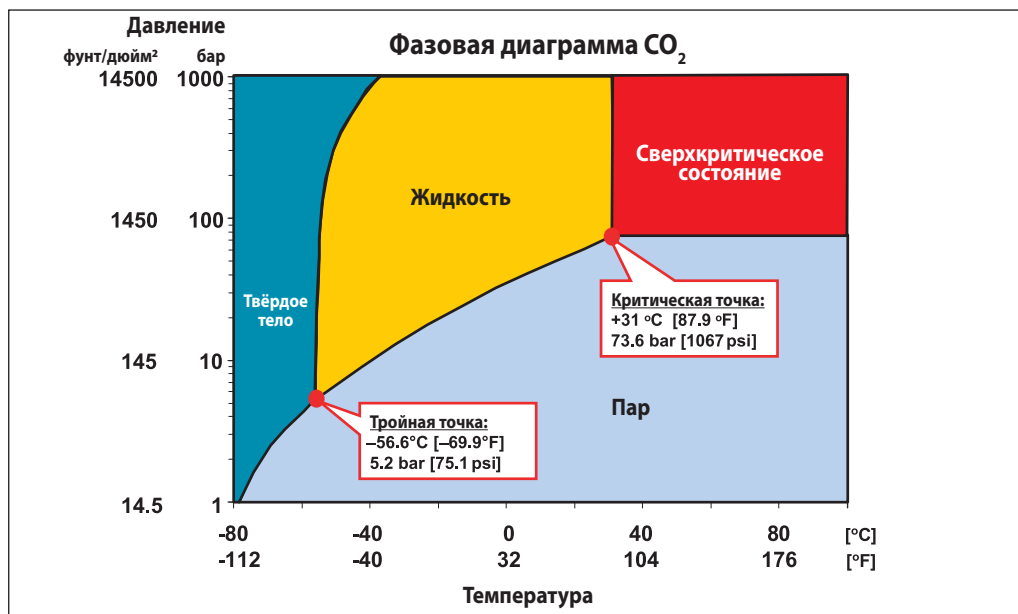
Ниже приведена фазовая диаграмма для CO<sub>2</sub>. Кривые линии, которые разделяют диаграмму на отдельные участки, определяют предельные значения давлений и температур для различных фаз: жидкой, твёрдой, паровой или сверхкритической. Точки на этих кривых определяют давления и соответствующие им температуры, при которых две фазы находятся в равновесном состоянии, например, твёрдая и паровая, жидкая и паровая, твёрдая и жидкая.

При атмосферном давлении CO<sub>2</sub> может существовать только в твёрдой или паровой фазе.

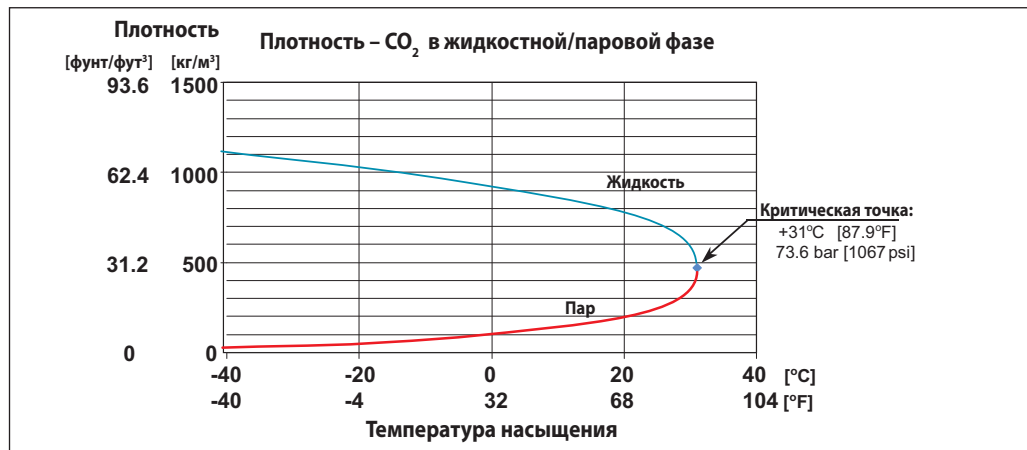
При таком давлении жидкость образовываться не может. Ниже -78.4°C [-109.1°F] CO<sub>2</sub> находится в твёрдой фазе. Образуется «сухой лёд». Когда температура превышает значение, указанное выше, CO<sub>2</sub>

сублимируется в паровую фазу.

При давлении 5.2 бар [75.1 фунт/дюйм<sup>2</sup>] и температуре -56.6°C [-69.9°F] CO<sub>2</sub> достигает, так называемой, тройной точки. В этой точке все три фазы существуют в равновесном состоянии.



CO<sub>2</sub> как хладагент

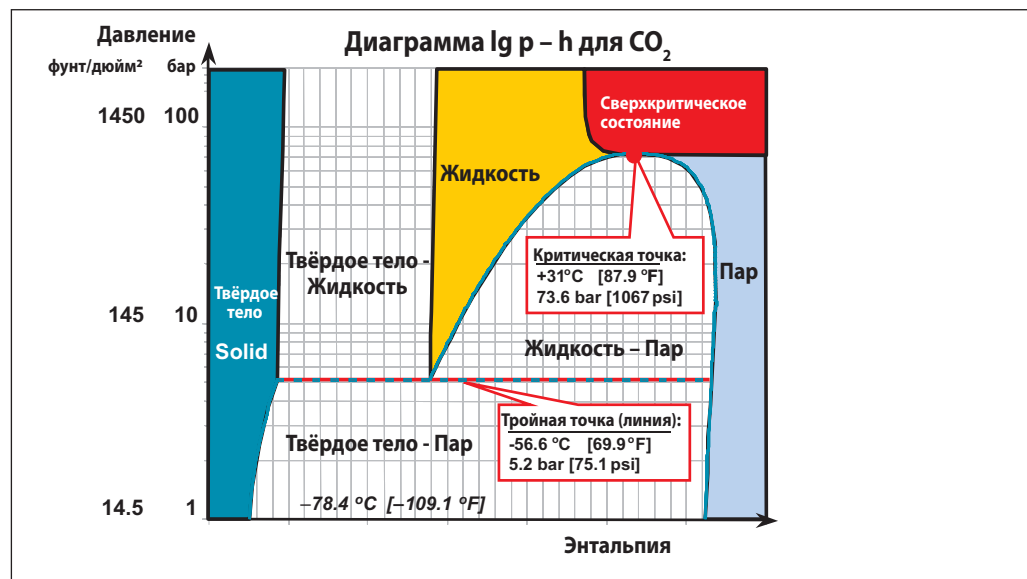


При температуре 31.1°C [88.0°F] CO<sub>2</sub> достигает своей критической точки. В этой точке плотности CO<sub>2</sub> в жидкостной и паровой фазе одинаковые. Следовательно, различие между двумя фазами исчезает и CO<sub>2</sub> существует в сверхкритической фазе.

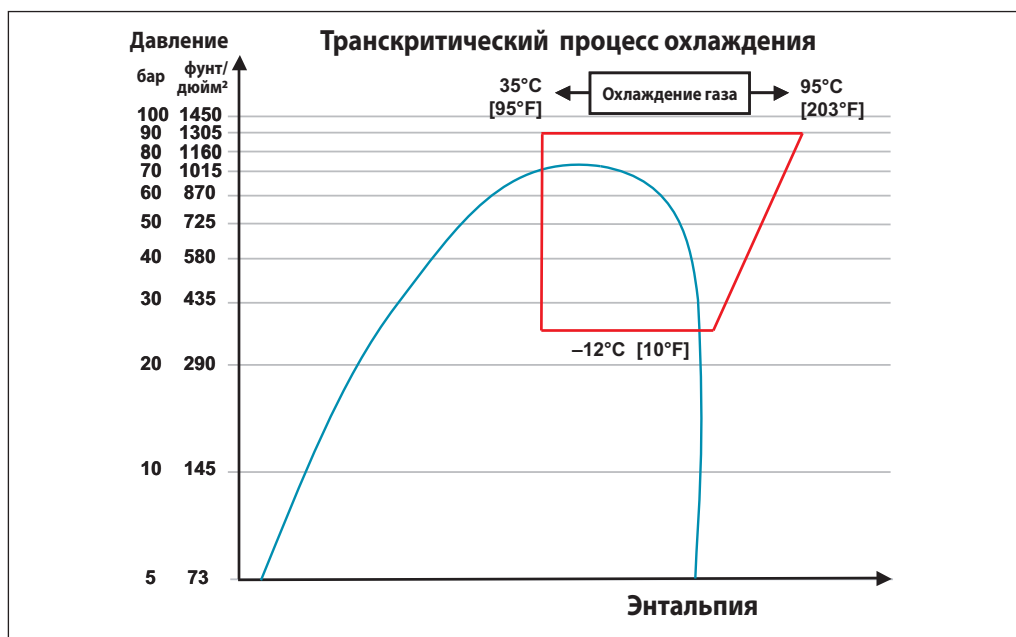
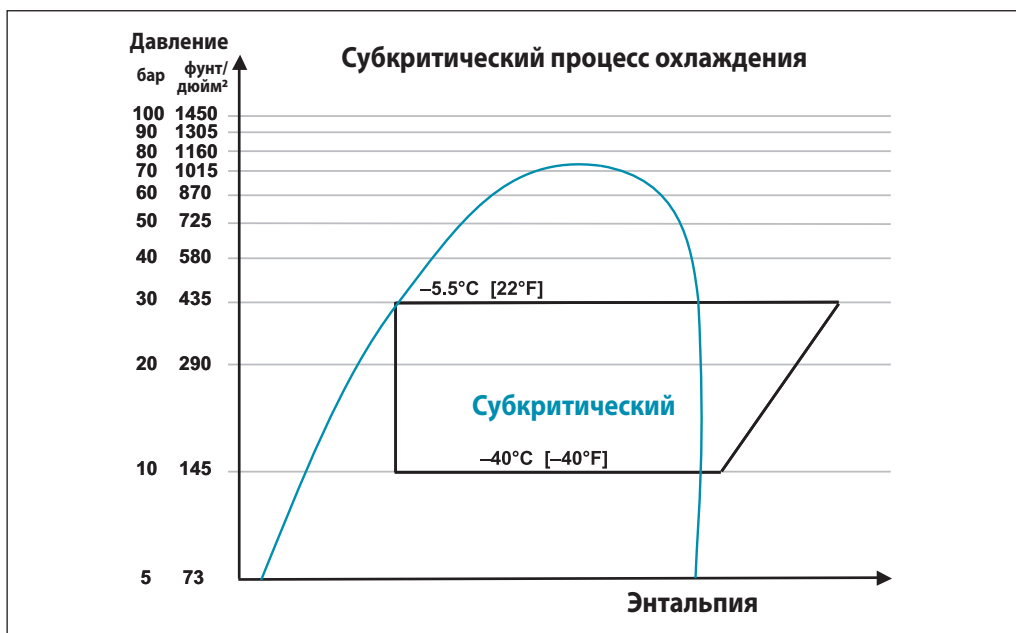
Диаграммы «давление – энтальпия» в основном используются в холодильной технике. Выше приведена расширенная диаграмма, которая показывает твёрдую и сверхкритическую фазы.

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 необходимо учитывать как тройную, так и критическую точку для любых типов холодильных систем. В классическом субкритическом холодильном цикле, который мы все хорошо знаем, весь диапазон рабочих температур и давлений находится ниже критической точки и выше тройной точки. Одноступенчатые холодильные системы на CO<sub>2</sub> также просты, но имеют некоторые неблагоприятные факторы, связанные с ограничениями значений температур и высоких давлений. Транскритические холодильные системы на CO<sub>2</sub> в настоящее время используются только в маленьких и коммерческих холодильных установках. Речь идёт о мобильных системах кондиционирования воздуха, небольших тепловых насосах и системах

охлаждения супермаркетов. Транскритические системы не применяются в промышленных холодильных установках. Рабочее давление в субкритическом цикле находится обычно в диапазоне: от 5.7 до 35 бар [от 83 до 507 фунт/дюйм²] при соответствующей температуре: от -55 до 0°C [от -67 до 32°F]. Если испаритель оттаивается горячим газом, то значение рабочего давления увеличивается примерно на 10 бар [145 фунт/дюйм²].



CO<sub>2</sub> как хладагент  
(продолжение)



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 CO<sub>2</sub>: системы с непосредственным кипением, системы с насосной циркуляцией, системы на CO<sub>2</sub> со вторичным рассольным контуром или комбинации этих систем.



# 1. Газоохладитель и промежуточный ресивер давления

## 1.1. Общее описание

Газоохладитель – это компонент транскритической системы, который является её отличительной особенностью от систем на традиционных хладагентах. Он заменяет конденсатор традиционных холодильных систем.

CO<sub>2</sub> не может конденсироваться при температуре выше 31°C.

Поэтому давление и температура более не зависят друг от друга в процессе отвода тепла.

При прохождении через газоохладитель температура CO<sub>2</sub> продолжает понижаться потому, что не происходит переход в другую фазу. При охлаждении газа CO<sub>2</sub> теплоёмкость его так же изменяется. Это отличает газоохладитель как от водяных теплообменников, где теплоёмкость рабочего вещества постоянна, так и от конденсаторов, где теплоёмкость в газовой фазе относительно низкая, а когда газ начинает конденсироваться становится очень высокой (рис. 1.1.1).

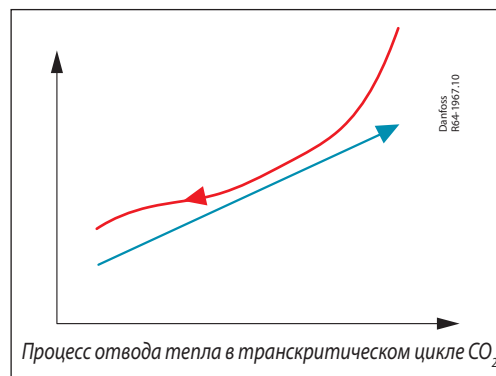
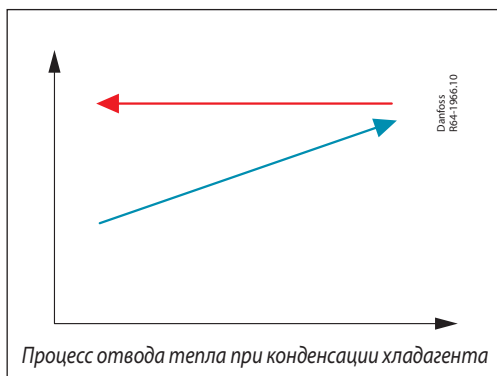


Рис. 1.1.1

Процесс отвода тепла при конденсации хладагента происходит при постоянной температуре. Таким образом, температура конденсации определяется температурой охлаждающей среды на выходе из конденсатора. Это обусловлено тем, что разность температур охлаждаемой и охлаждающей сред самая маленькая именно на выходе из конденсатора.

Для транскритического цикла наименьшая разница температур существует не на выходе из газоохладителя. Часто она существует на входе среды, но иногда может быть посередине между входом и выходом газоохладителя. Это зависит от существующих температур и давлений. Следовательно, можно достичь очень высоких температур, используя CO<sub>2</sub>. Чтобы добиться максимальной производительности

газоохладителя, очень важно при проектировании сделать его теплообменником противоточного типа.

Разница температур между воздухом и охлаждающей средой CO<sub>2</sub> в газоохладителе составляет обычно половину от аналогичной разницы температур типичной для конденсации хладагента.

Вода, рассол и воздух являются наиболее широко применяемые охлаждающие среды в газоохладителе. В следующем разделе все эти типы будут рассмотрены. Поскольку температура охлаждающей среды обычно не является постоянной, давление на высокой стороне может быть оптимизировано для получения максимального значения холодильного коэффициента COP (рис. 1.1.2). Таким образом, давление может регулироваться в зависимости от температуры газа CO<sub>2</sub>, выходящего из газоохладителя.

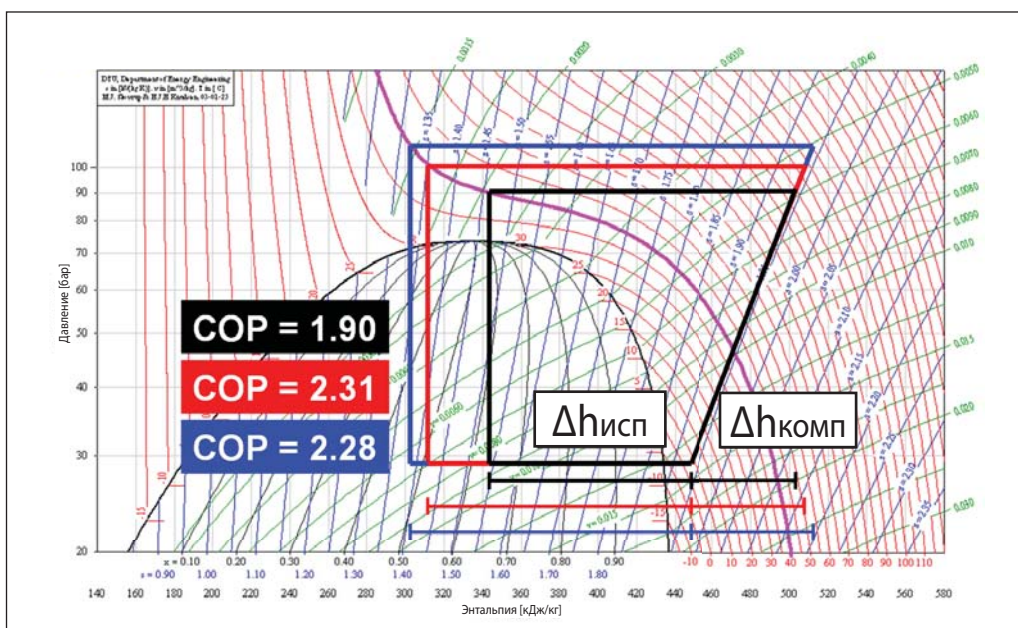


Рис. 1.1.2: Оптимальное значение COP в газоохладителе.



1.1. Общее описание  
(продолжение)

Оптимизация давления осуществляется при помощи компонентов, производимых компанией «Данфосс»: контроллера ЕКС 326 и расширительного клапана ІСМТ, который устанавливается на выходе из газоохладителя. Эта конструкция позволяет регулировать давление в газоохладителе и давление в промежуточном ресивере независимо друг от друга.

Давление в ресивере является одним из важных параметров, однако конструкция ресивера так же имеет большое значение потому, что он обычно выполняет ещё роль отделителя жидкости. Для того чтобы поддерживать промежуточное давление на низком уровне, мгновенно выделяющийся газ стравливается через газовый перепускной клапан на всасывающую сторону компрессора. Двухфазовая смесь должна быть разделена, перед тем как попадёт в газовый перепускной клапан. Если отделение газа от жидкости произошло не полностью, то часть жидкости попадёт через газовый пере-

пускной клапан в компрессор высокого давления. Таким образом, необходимо очень тщательно производить расчёт конструкции ресивера.

Простое исследование промежуточного давления показало, что для понижения количества жидкости в газовом перепускном клапане необходимо, чтобы давление было как можно ниже (рис.1.1.3). Наличие жидкости нежелательно не только потому, что она может привести к повреждению компрессора, но она так же снизит значение холодильного коэффициента COP системы. Часто поддерживается давление 30-35 бар (-8°C/-10°C) потому, что при этом количество частиц жидкости в газовом перепускном клапане составляет примерно 1-2 % и это не создаёт проблем для нормальной работы. С другой стороны, при этом сохраняется перепад давления в 4-10 бар, который является достаточным для работы клапанов АКV.

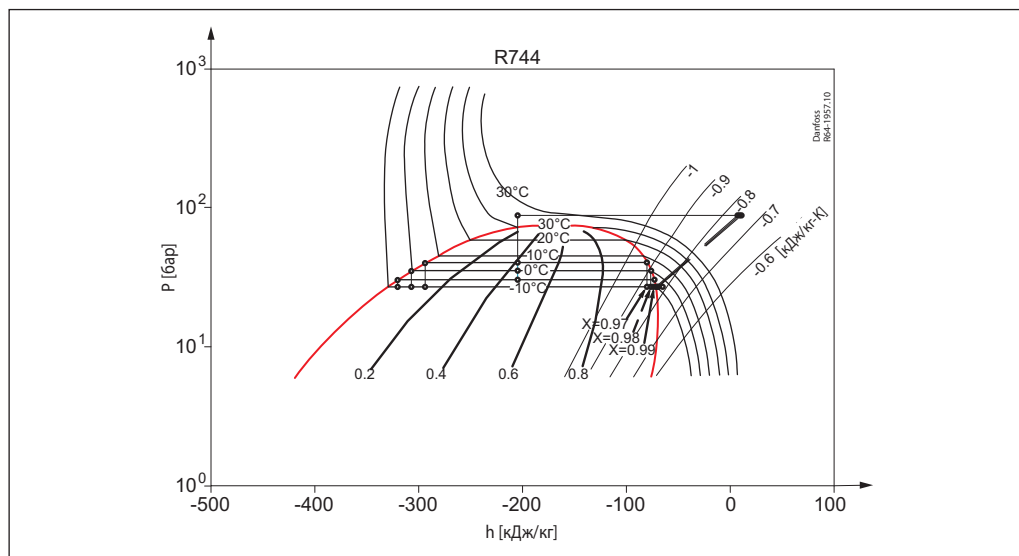


Рис. 1.1.3: Цикл в диаграмме lgP – h для трёх значений промежуточного давления (30, 35 и 40 бар).

Давление в ресивере постоянно независимо от температуры окружающей среды, но скорость потока между газовым перепускным клапаном и жидкостной линией изменяется с изменением давления в газоохладителе и температуры на выходе из газоохладителя (рис. 1.1.4 и 1.1.5).

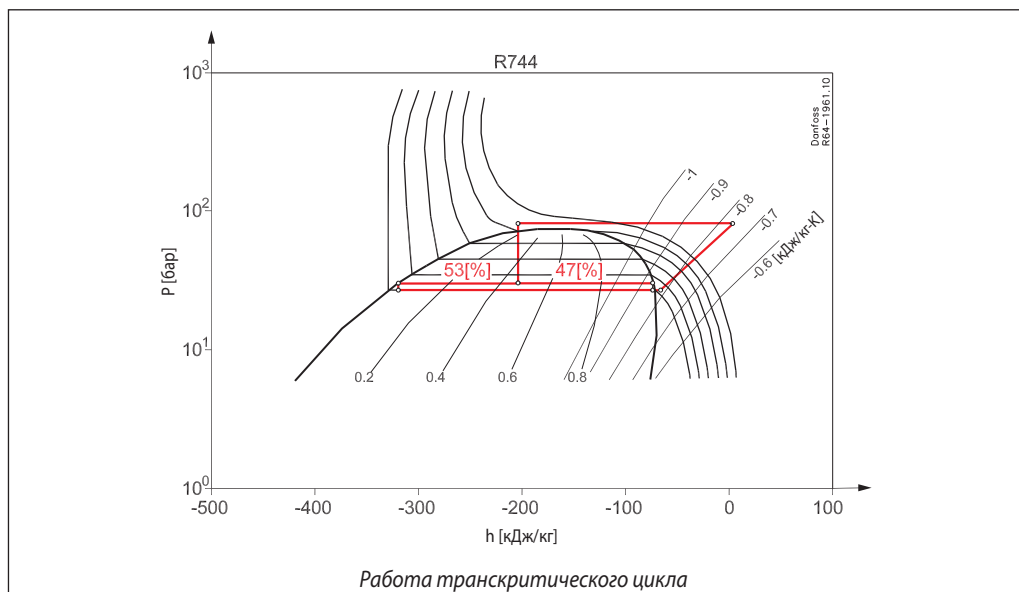
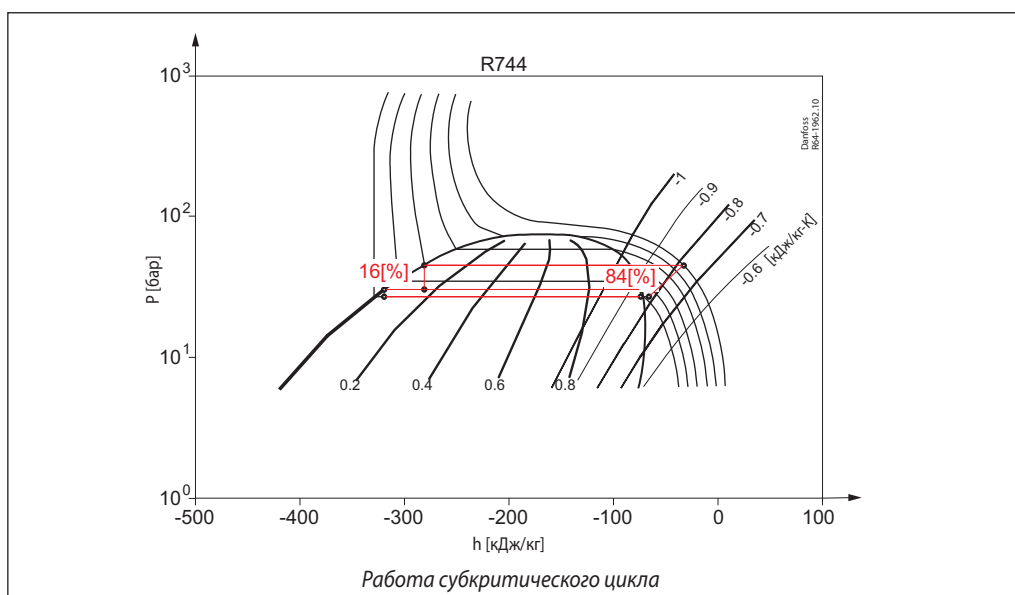


Рис. 1.1.4: Содержание влажного пара при температуре 35°C на выходе из газоохладителя/конденсатора.

1.1. Общее описание  
(Продолжение)



**Рис. 1.1.5: Содержание частиц жидкости в паре при температуре 10°C на выходе из газоохладителя/конденсатора.**

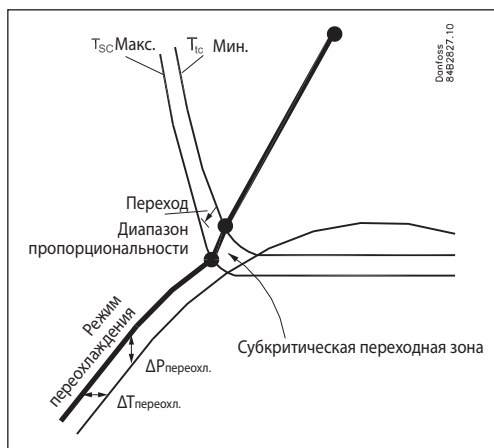
Независимость давления в ресивере от окружающей среды делает поток в испарителях только зависимым от производительности охлаждения.

В транскритических системах без газового пере-пускового клапана массовый поток может изменяться в 2 раза только в зависимости от температуры окружающей среды, что создаёт трудности при проектировании линий всасывания и возврата масла.

1.2.1. Газоохладитель  
под управлением  
контроллера ЕКС 326

Регулирование работы газоохладителя в холодильных системах осуществляется относительно недавно и поэтому служит предметом многих исследований за последние годы. В этих системах регулирование газоохладителя делится на три зоны.

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



**Рис. 1.2.1: Регулирование газоохладителя в диаграмме lgP-h.**

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

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 так же не вращаются.

В традиционных системах давление часто служит регулирующим параметром (с уменьшением давления конденсации растёт 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.

1.2.2. Газоохладитель с водяным охлаждением

Газоохладитель с водяным охлаждением часто используется в тепловых насосах и системах охлаждения супермаркетов, где отводимое тепло используется системой. Для такого газоохладителя характерной чертой является большая величина теплового потока. Это обусловлено высоким коэффициентом теплопередачи на обеих сторонах. Поэтому эти газоохладители компактны.

Вторым отличием от традиционных хладагентов является высокая величина рабочего давления. Так как теплообменники должны выдерживать высокое давление и быть противоточного типа, то подходящим вариантом для использования в качестве газоохладителей являются коаксиальные теплообменники.

Кожухотрубные теплообменники и другие схожие с ними типы теплообменников обладают скорее поперечным потоком и поэтому непригодны для данного применения.

Внутренний объём коаксиальных теплообменников очень маленький по сравнению с их производитель-

ностью. Это приводит к снижению требуемого объёма ресивера.

Поскольку расход хладагента через газоохладитель сильно зависит от температуры и давления, то велика потребность в теплообменниках с небольшим внутренним объёмом. Высокая температура, присутствующая при работе на CO<sub>2</sub>, создаёт проблемы с возникновением известковых отложений. Таким образом, необходимо уделять этому вопросу повышенное внимание. Температура нагнетания в некоторых системах достигает 160°C. И поскольку система обладает относительно большой производительностью и для неё характерен высокий коэффициент теплопередачи, то температура стенок теплообменника системы, работающей на CO<sub>2</sub>, будет выше, чем температура стенок теплообменников систем, работающих на других хладагентах.

Поток воды в системе регулируется водяным клапаном AVTA в зависимости от температуры нагнетания. Давление CO<sub>2</sub> регулируется при помощи клапана ICMT и контроллера EKC 326, который получает сигналы с датчика давления AKS 32 и датчика температуры AKS 11 (рис. 1.2.2).

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

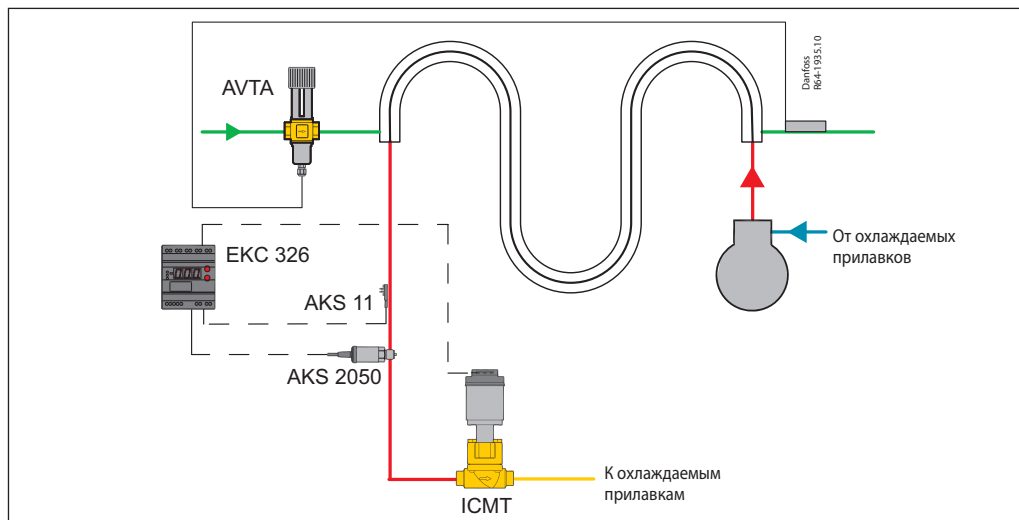


Рис. 1.2.2: Газоохладитель с водяным охлаждением.

1.3. Газоохладитель с воздушным охлаждением

Газоохладитель с воздушным охлаждением используется в тех системах, где не производится регенерация тепла или производится лишь частично. Обычно для CO<sub>2</sub> используются газоохладители с оребрѐнными трубками.

Они имеют меньший коэффициент теплопередачи со стороны воздуха и поэтому такие теплообменники намного габаритнее и имеют значительно больший объём, чем газоохладители с водяным охлаждением.

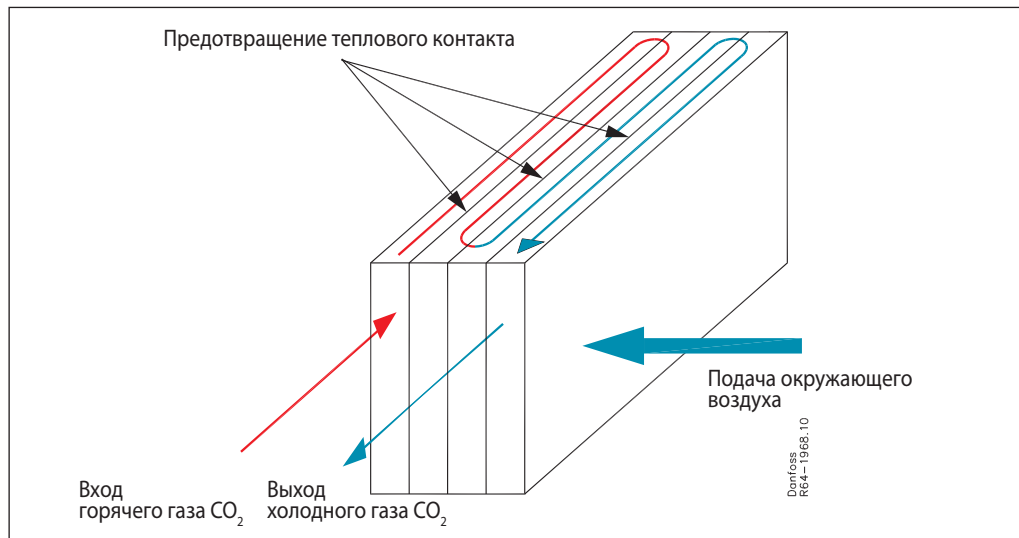


Рис. 1.3.1

### 1.3. Газоохладитель с воздушным охлаждением (продолжение)

Интересным аспектом в работе системы на CO<sub>2</sub> является тот факт, что перепады давления не имеют такое большое влияние на эффективность холодильного цикла как в системах с традиционными хладагентами и перепад давления в 0,5 – 1,0 бар является нормальным.

На практике даже более выгодно иметь большой перепад давления, поскольку это помогает улучшить внутренний коэффициент теплопередачи и позволяет использовать в газоохладителе трубки меньших размеров (для этих целей в основном используются трубки с размерами 5/16" или 3/8").

В воздухоохладителях не создаётся настоящего противотока и поэтому распространение тепла на рёбрах трубок является проблемой, на которую следует обратить внимание. В зависимости от расположения трубок, разница в их температуре может достигать 10 К при расстоянии между ними всего 20-25 мм. На трубках делается более эффективное оребрение, обладающее высоким коэффициентом теплопередачи, что позволяет получить улучшенный теплообмен. Однако таким образом создаётся возможность для передачи тепла от горячих трубок к холодным и этого необходимо избегать.

Потеря производительности из-за такого теплового мостика может достигать 20-25%. Эти потери должны быть снижены или устранены разделением рёбер.

Особенно важен внутренний объём газоохладителя так как от него зависит размер ресивера. В газоохладителе происходит радикальное изменение средней плотности газа CO<sub>2</sub>, состояние которого изменяется от транскритического до субкритического, определяя тем самым размер ресивера.

**Особое внимание должно быть уделено системам, в которых газоохладитель состоит из двух частей. Первой частью служит компактный теплообменник с подогреваемой водой, а охлаждение транскритического потока происходит в газоохладителе, охлаждаемом воздухом (более подробно смотрите в Главе 7).**

Средняя плотность в этом случае очень высока и поэтому изменения объёма очень значительны.

Переохлаждение так же является причиной больших колебаний потока, поступающего в газоохладитель. Поэтому регулирование переохлаждения является очень важной задачей.

### Существует несколько различных способов регулирования давления рабочей среды.

#### Способ 1:

Понизить давление в системе распределения, используя газовый перепускной клапан. После процесса расширения потока высокого давления происходит его разделение на жидкость и газ, который перепускается прямо во всасывающую линию компрессора. Жидкость подаётся в испаритель. Этот способ позволяет использовать компоненты стандартного исполнения (рис. 1.3.2).

Промежуточное давление регулируется при помощи шагового моторного клапана ETC и контроллера ЕКС 326, а высокое давление регулируется клапаном ICMT.

— Парообразный хладагент ВД  
— Жидкий хладагент ВД  
— Парообразный хладагент НД

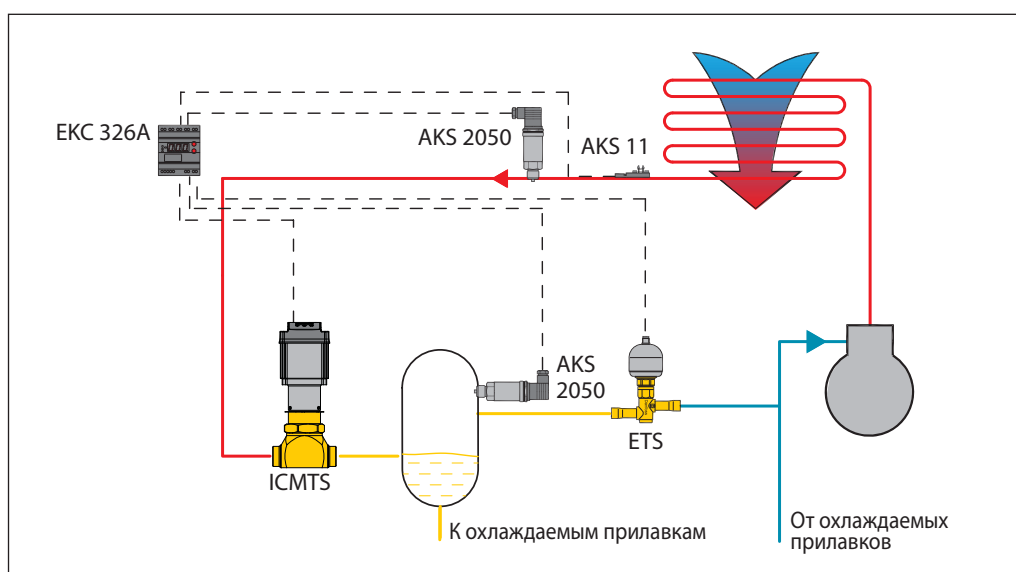


Рис. 1.3.2: Промежуточное давление регулируется при помощи шагового моторного клапана ETC.

1.3. Газоохладитель с воздушным охлаждением (продолжение)

Способ 2:

В некоторых случаях (обычно в больших системах) клапан ETC может быть заменён пилотным клапаном ICS +CVP(XP), который поддерживает давление, настроенное на клапане CVP(XP), имеющем специальную конструкцию, рассчитанную на высокое давление (рис. 1.3.3).

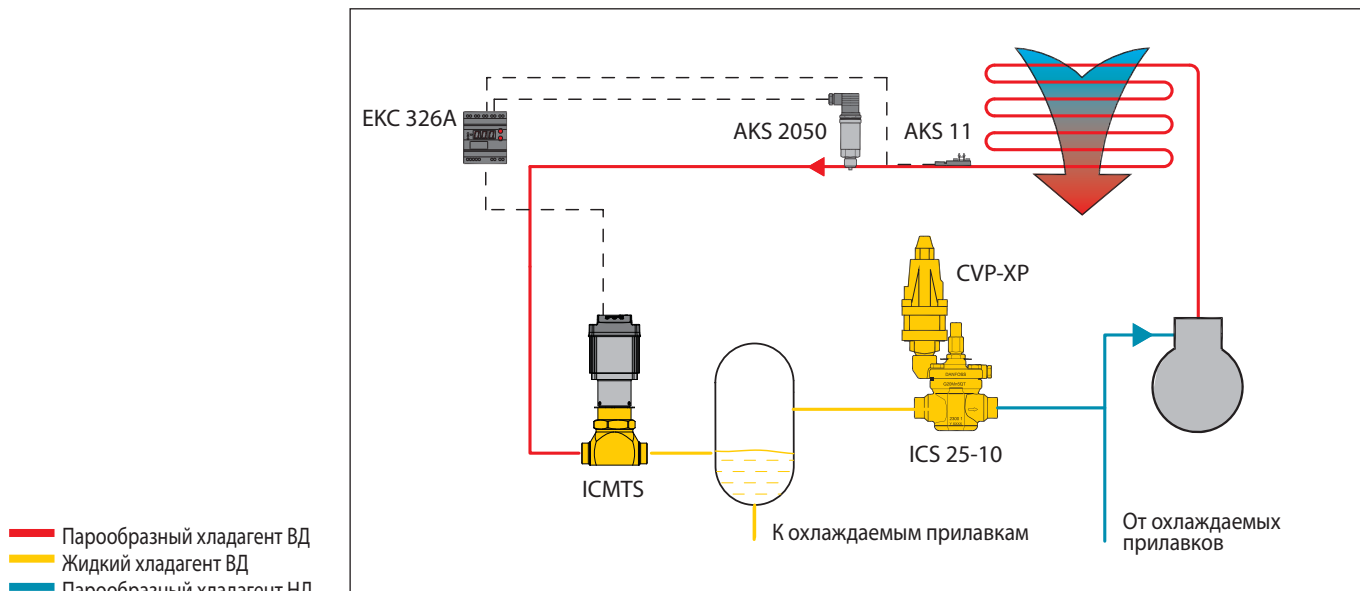


Рис. 1.3.3: Промежуточное давление регулируется пилотным клапаном ICS +CVP(XP).

Способ 3:

Для снижения потребления энергии может быть использована технология параллельного сжатия. В этом случае газ из ресивера не перепускается на всасывание, а непосредственно сжимается (рис. 1.3.4).



Рис. 1.3.4: Регулирование промежуточного давления при помощи вспомогательного компрессора.

## 1.4. Выводы

Система	Газоохладитель, имеющий воздушное охлаждение с моторным клапаном	Газоохладитель, имеющий воздушное охлаждение, с механическим регулирующим клапаном	Газоохладитель, имеющий воздушное охлаждение, со вспомогательным компрессором.
Преимущества	Гибкость системы.	Простота в использовании.	Высокая эффективность. Пониженное потребление энергии.
Недостатки	Эффективность системы ниже, чем при использовании вспомогательного компрессора.	Можно задать только одну величину давления.	Цена и сложность системы.
Используемые компоненты, производимые компанией «Данфосс»	ICMT EKC 326A ETS AKS 2050 AKS11	ICMT EKC 326A ICS+CVP(XP) AKS 2050 AKS11	ICMT EKC 326A ETS AKS 2050 AKS11



## 2. Каскадный теплообменник

### 2.1. Общее описание

В каскадной холодильной установке, работающей с использованием CO<sub>2</sub>, компрессор низкотемпературной стороны нагнетает газ CO<sub>2</sub> в каскадный теплообменник. Здесь тепло низкотемпературного контура отбирается высокотемпературным контуром и нагнетаемый газ CO<sub>2</sub> конденсируется в жидкость высокого давления. Высокотемпературный контур воспринимает тепло, которое отбирается от низкотемпературного контура в процессе кипения хладагента высокотемпературного контура.

Проектирование, производство, монтаж и испытание каскадных теплообменников являются самыми сложными задачами при использовании каскадных холодильных систем.

Очень важно правильно рассчитать размеры такого теплообменника, чтобы он нормально

функционировал как при высоких, так и при низких нагрузках.

Проектирование каскадных теплообменников является сложной задачей потому, что на обеих его сторонах происходят фазовые переходы. Если он имеет завышенные размеры, то практически невозможно будет получить стабильный теплообмен и оптимальную работу системы в условиях частичной нагрузки.

В коммерческих холодильных системах для выполнения этих функций обычно используются пластинчатые теплообменники. В более мощных холодильных установках могут использоваться каскадные теплообменники других типов. Как правило, применяются три конфигурации каскадных теплообменников.

### 2.2. Каскадный теплообменник стандартного исполнения

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

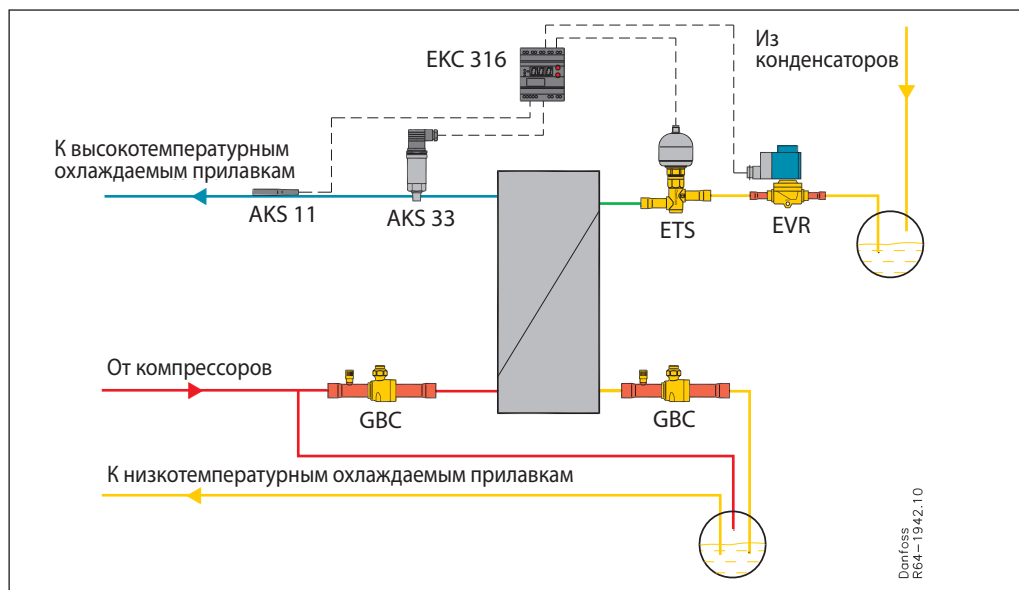


Рис. 2.2.1: Каскадный теплообменник с непосредственным нагнетанием из компрессора.

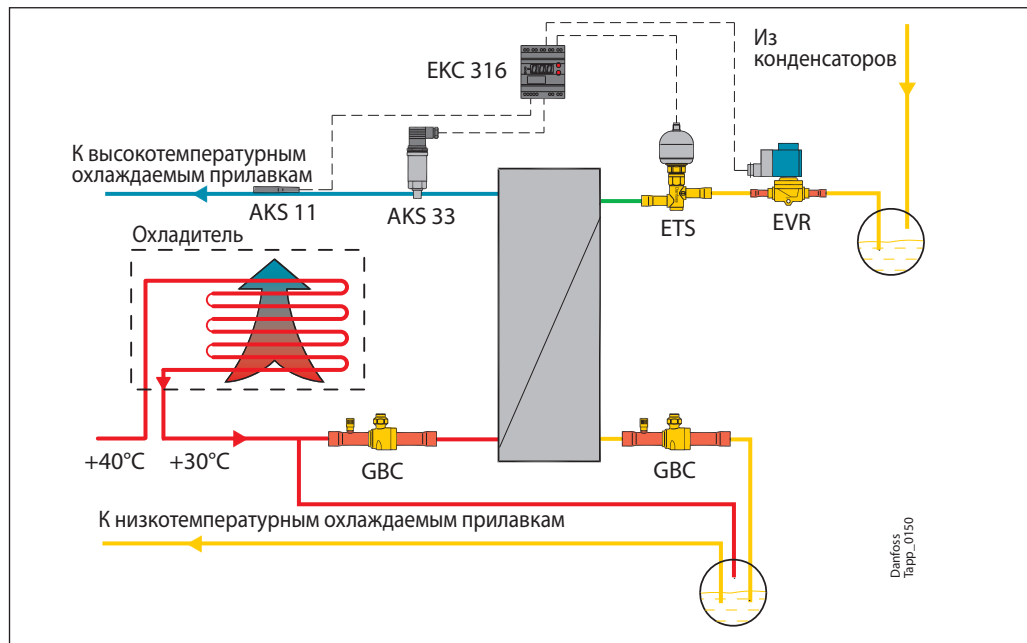
Подача в каскадный теплообменник осуществляется через моторный клапан ETS, управляемый контроллером EКС 316. Контроллер EКС 316 включает-ся, когда запускается компрессор контура CO<sub>2</sub>. Это отслеживается контроллером, управляющим работой установки (например, АК-SC 255, АК-PC 730 или АК-PC 840), который последовательно включает контроллер EКС 316 и клапан ETS.

Обращаем Ваше внимание на то, что клапан ETS не может использоваться с легковоспламеняющимися хладагентами.

Например, в случае использования пропана в качестве хладагента высокотемпературного контура, необходимо использовать механический термостатический расширительный клапан. Алгоритм управления остаётся тем же.

Важно так же, чтобы жидкость удалялась из каскадного теплообменника полностью. Чтобы гарантировать это, рекомендуется использовать уравнительную линию.

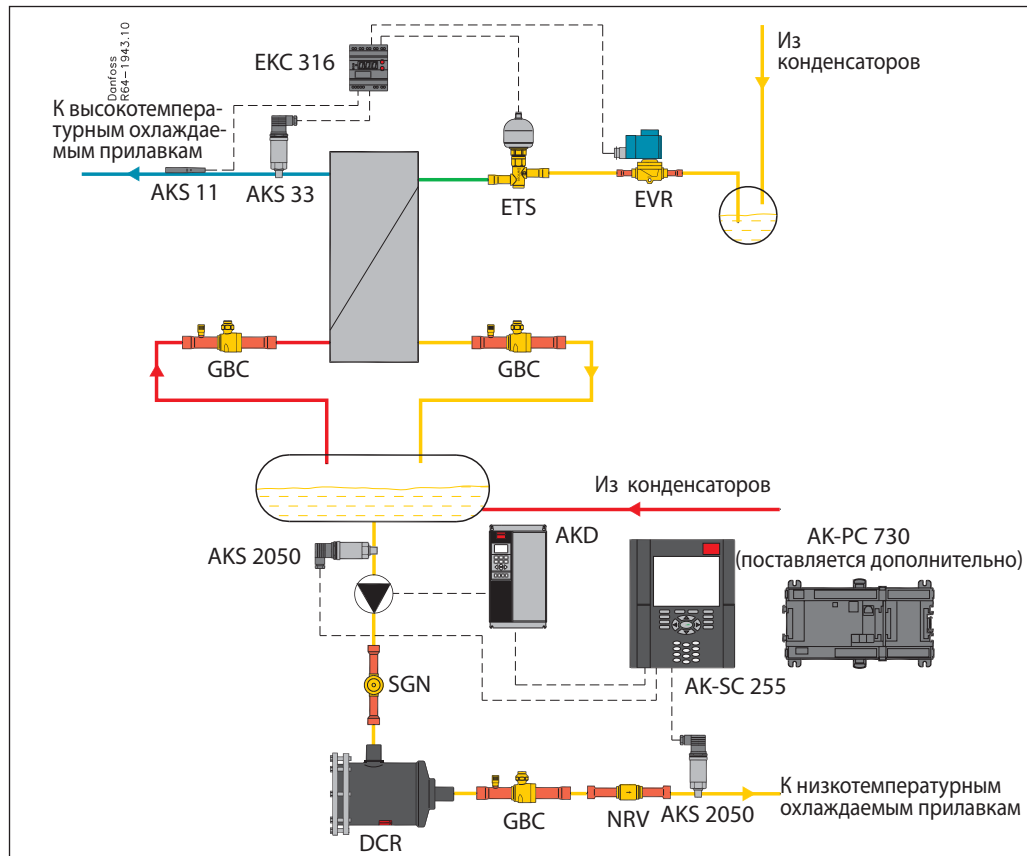
2.2. Каскадный теплообменник стандартного исполнения (продолжение)



- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

Рис. 2.2.2: Каскадный теплообменник с охладителем.

2.3. Каскадный теплообменник с промежуточным сосудом



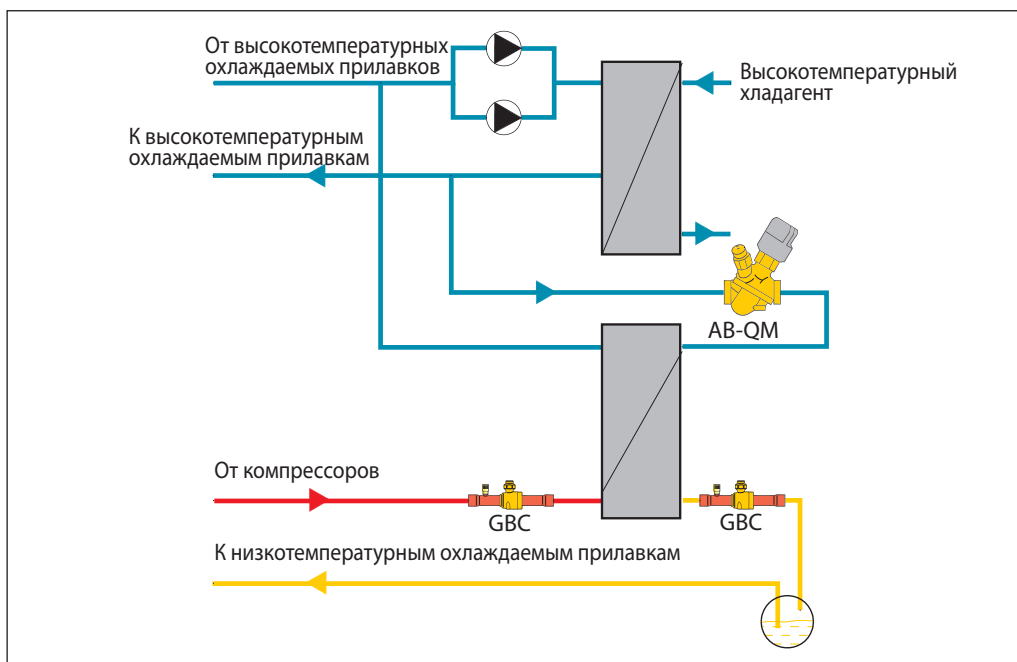
- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

Рис. 2.3.1: Каскадный теплообменник с насосной циркуляцией.

Другая конфигурация каскадной системы на CO<sub>2</sub> не требует установки дополнительной уравнивающей линии. Недостатком данной системы являются в том, что она более чувствительна к размерам трубопровода контура CO<sub>2</sub> и компоновке оборудования. Регулирование работы высокотемпературного контура осуществляется так же с помощью комбинации: ETS + EKC 316. Жидкость из промежуточного сосуда насосом подаётся к среднетемпературным или низкотемпературным потребителям.

Поток регулируется в соответствии с давлением путём изменения частоты вращения двигателя насоса с помощью частотного регулятора AKD 102 или использованием дроселирующего отверстия фиксированного размера. С точки зрения энергетической эффективности использование частотного регулятора является более целесообразным выбором.

2.4. Каскадный теплообменник с вторичным охлаждением



- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД

Рис. 2.4.1: Каскадный теплообменник, охлаждаемый рассолом.

В последней описываемой конфигурации каскадный теплообменник используется в системе, в которой рассол используется для высокотемпературных потребителей. Для охлаждения каскадного теплообменника могут использоваться такие же насосы, как в предыдущей конфигурации. Для использования в низкотемпературных рассольных системах компания «Данфосс» специально разработала клапан АВ-QM, который может применяться для регулирования потока на входе в каскадный теплообменник.

В рассольной системе может так же применяться соленоидный клапан EV220. Преимуществом данной комплектации является то, что в роли конденсатора используется пластинчатый теплообменник, что значительно упрощает его подбор и регулирование. Это позволяет осуществлять механическое регулирование при помощи клапана АВ-QM.

2.5 Выводы

Система	Система с непосредственным кипением хладагента	Система с непосредственным кипением хладагента и сосудом для CO <sub>2</sub>	Система с вторичным охлаждением
<b>Преимущества</b>	Простая компоновка	Простота в использовании.	Высокая эффективность. Пониженное потребление энергии.
<b>Недостатки</b>	Требуется установка дополнительной линии	Можно задать только одну величину давления.	Цена и сложность системы.
<b>Используемые компоненты, производимые компанией «Данфосс»</b>	ЕКС 316 ETS АКС 11 АКС 33 GBC	ЕКС 316 ETS АКС 11 АКС 33 GBC AKD	GBC AB-QM

### 3. Ресивер низкого давления/Отделитель жидкости

#### 3.1. Виды каскадных систем

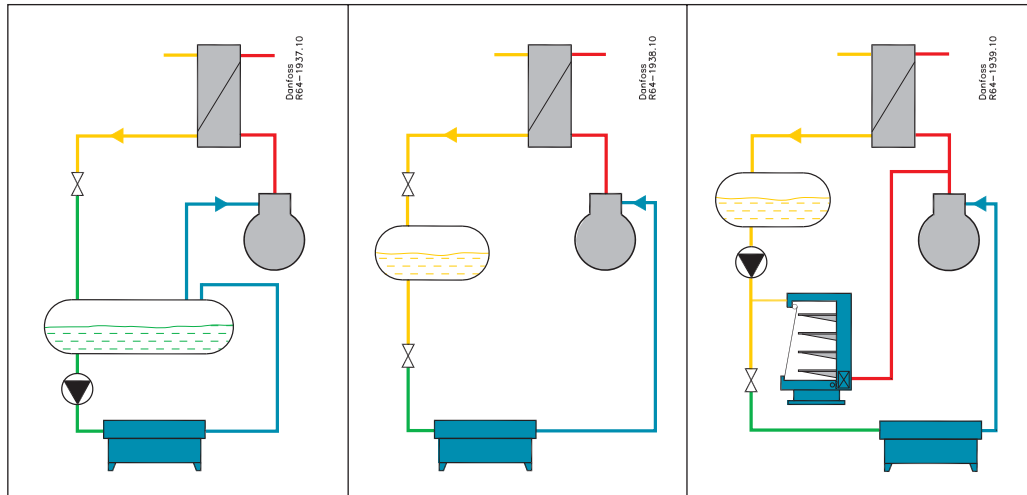
Назначение и функции этих сосудов в системах на CO<sub>2</sub> в основном такое же, как и в системах с традиционными хладагентами. При проектировании сосудов необходимо учитывать физические свойства хладагентов.

Отделитель жидкости – это сосуд, в котором при помощи силы тяжести жидкость отделяется от газа. В нём поддерживается определённый уровень жидкости, которая затем подаётся в испаритель.

Поток CO<sub>2</sub> подаётся в испаритель либо благодаря разнице давлений (системы с непосредственным кипением), либо при помощи насоса.

Поскольку CO<sub>2</sub> имеет более высокие рабочие давления, чем большинство других хладагентов при соответствующих температурах, то необходимо это учитывать при определении рабочего давления системы на стадии проектирования.

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД



**Рис. 3.1.1: Система с насосной подачей**

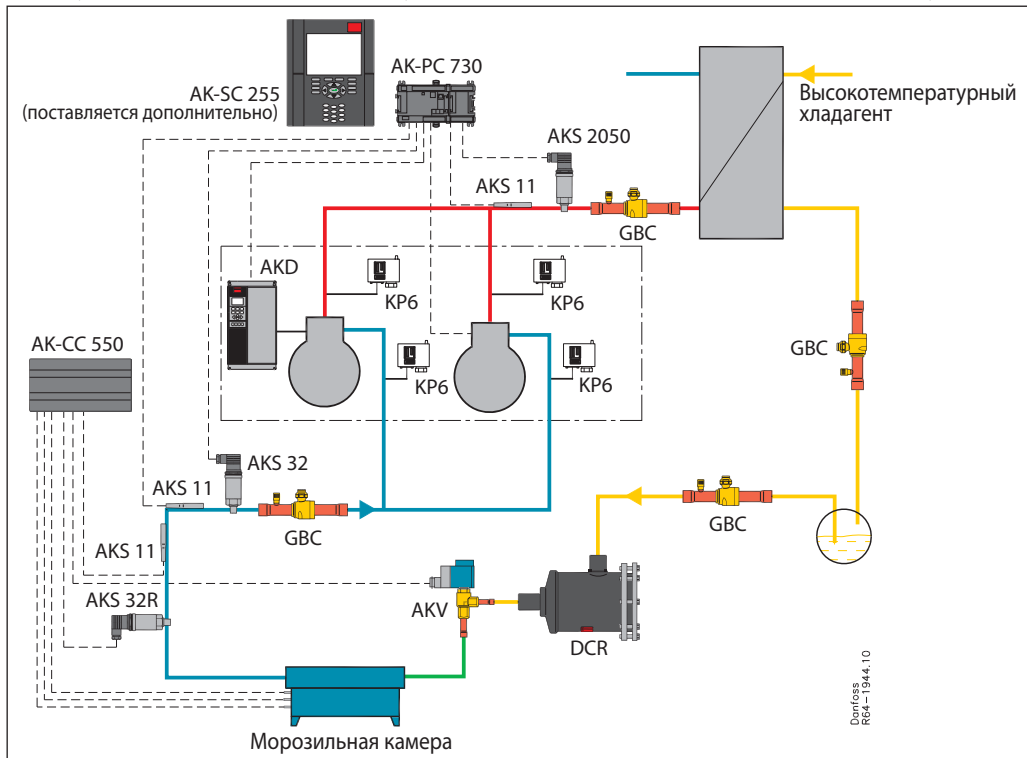
**Рис. 3.1.2: Система с непосредственным кипением хладагента**

**Рис. 3.1.3: Комбинированная система**

#### 3.2. Виды систем с непосредственным кипением хладагента

Система с непосредственным кипением хладагента является более простой, так как в ней отсутствует насос и устройства контроля уровня жидкости. Такая система имеет так же меньшую заправку хладагентом. Недостатком данной системы является то, что она имеет пониженную эффективность, обусловленную наличием более высокого перегрева на всасывании. Поэтому данные системы обычно используются

в небольших холодильных установках (например, дежурных магазинах или магазинах уценённых товаров) Предпочтительно так же устанавливать расширительные клапаны AKV ближе к жидкостному ресиверу, чтобы избежать возникновения мгновенно выделяющегося газа. В данной конфигурации необходимо учитывать наличие перепада давления на фильтре – осушителе.



**Рис. 3.2: Каскадная система на CO<sub>2</sub> с непосредственным кипением – низкотемпературный цикл.**

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

3.3. Системы с насосной подачей

В системах с насосной подачей хладагент подаётся в испаритель при помощи насоса с определённым расходом. Если кратность циркуляции имеет значение от 1.5:1 до 2.5:1, то это обозначает, что примерно две единицы жидкости откачивается насосом и одна единица испаряется.

Благодаря более высокой эффективности CO<sub>2</sub>, кратность циркуляции таких систем может быть ниже, чем у традиционных систем. Три остающиеся единицы жидкости возвращаются в сосуд в виде двухфазного потока.

В сосуде происходит отделение газа от жидкости. Жидкость остаётся в сосуде, а газ отсасывается компрессором.

Обычно промышленные холодильные насосы используются в крупных системах. Они полностью укомплектованы и требуют минимального обслуживания при правильной установке на место. На рынке существуют насосы с пониженным расходом (до 0,5 м<sup>3</sup>/ч).

*Конструкция системы контроля уровня жидкости*  
Уровень жидкости в отделителе жидкости регулируется электронным расширительным клапаном (AKV, ETS или ICM), который получает управляющий сигнал от контроллера ЕКС 347. Уровень жидкости измеряется емкостным стержнем датчика AKS 41. Не все системы с насосной циркуляцией имеют различные аварийные датчики уровня.

Но практически всегда сигнал о низком уровне жидкости можно получить при отключении насоса из-за маленького перепада давления на нём. Очевидно, что низкий уровень жидкости приводит

к уменьшению напора насоса и последующей его остановке из-за маленького перепада давления на нём. Как правило, минимальное значение перепада давления на насосе для CO<sub>2</sub> составляет от 1 до 3 бар.

Одним из примеров этого является случай, когда жидкость возвращается из камер в отделитель. После некоторой задержки времени насос будет пытаться запуститься заново, пока необходимый перепад давления на насосе не будет достигнут. Отделитель жидкости горизонтальной конструкции снабжён несколькими смотровыми стёклами, как показано на рисунке ниже.

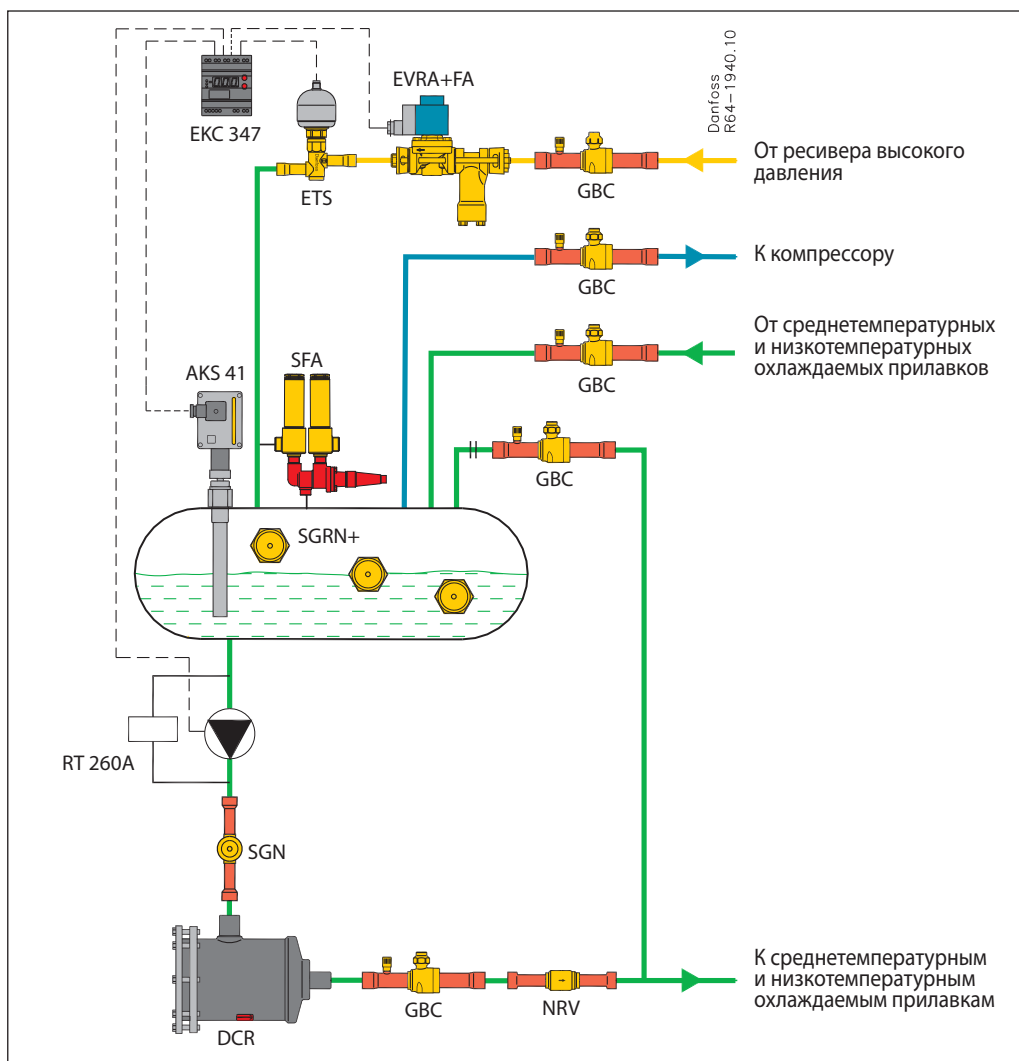


Рис. 3.3.1: Резервуар низкого давления и компоновка насоса.

3.3. Системы с насосной подачей  
(продолжение)

**Конструкция насоса.**

При проектировании систем на CO<sub>2</sub> с насосной подачей необходимо тщательно осуществлять расчёт всасывающей линии насоса. Как показала практика, для достижения оптимальной работы системы, максимальная скорость потока должна быть 0,3 – 0,5 м/с.

Для охлаждения обмоток электродвигателя насоса необходимо всегда обеспечивать хотя бы минимальный поток хладагента. Это достигается использованием дросселирующего отверстия минимального расхода

Особенно потребность в этом возникает, когда температура в охлаждаемых камерах достигает установленных значений и соленоидные клапаны или расширительные клапаны AKV выключаются.

Для этой цели используются два датчика давления AKS 2050 и контроллер AK-PC 255, AK-PC 730 или AK-PC840.

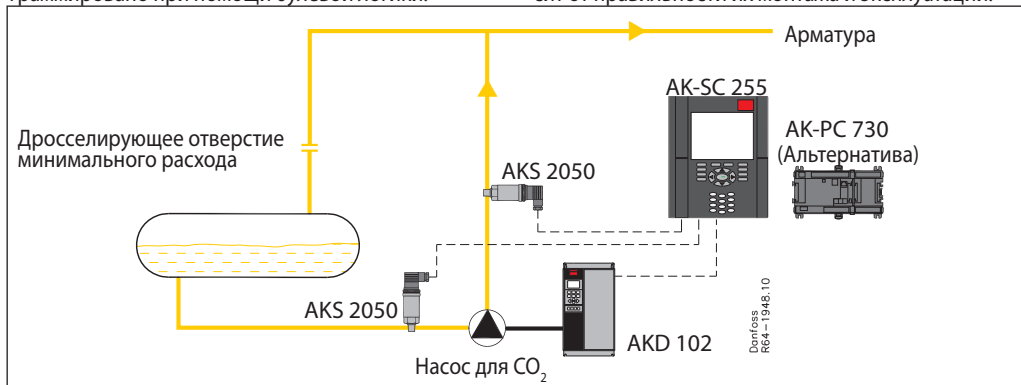
Выполнение этих действий должно быть запрограммировано при помощи булевой логики.

Поскольку система на CO<sub>2</sub> работает при высоком давлении, то стандартные реле давления здесь нельзя использовать для защиты по перепаду давления на насосе. Однако существует возможность обеспечить безопасное отключение насоса при помощи датчиков давления и логических вычислений, реализованных в контроллере AK SC 255 или независимых реле давлений в АК-РС 730 и АК-РС840.

Для обеспечения максимальных значений кратности циркуляции и высоты всасывания насоса, номинальной мощности двигателя и предотвращения кавитации (которая обычно происходит после проведения оттайки испарителя) используется дросселирующее отверстие максимального расхода. Когда, исходя из требований конструкции системы, необходимо обеспечить более высокое давление нагнетания насоса при более высокой кратности циркуляции, тогда вместо дросселирующего отверстия максимального расхода используется регулятор потока.

Нормальная работа насосов в системе на CO<sub>2</sub> зависит от правильности их монтажа и эксплуатации.

— Жидкий хладагент ВД



**Рис. 3.3.2: Расположение дросселирующего отверстия минимального расхода.**

Четыре ключевых пункта должны быть соблюдены

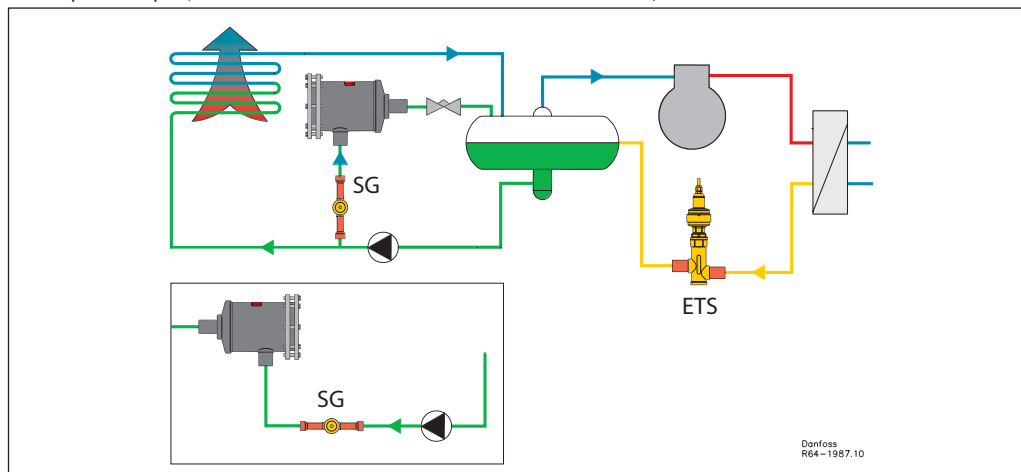
- ◆ Обеспечить минимальную высоту всасывания насоса, чтобы избежать возникновения кавитации (даже не смотря на то, что в данном случае это является меньшей проблемой, чем в установках на фреоне)
- ◆ Работать в допустимом диапазоне, между максимальной и минимальной производительностью.
- ◆ Обеспечить автоматический перепуск хладагента из насоса, чтобы избежать образования гидравлических ловушек.
- ◆ Избегать резкого понижения давления или температуры в системе. Для компрессоров рекомендуется использовать привод с переменной скоростью вращения.

Следует использовать привод с переменной скоростью вращения типа AKD 102 для насосов, работающих на CO<sub>2</sub> так, как они почти всегда обладают повышенной производительностью.

На нагнетательной стороне насоса необходимо размещать обратный клапан, чтобы предотвратить образования обратного потока через насос при его остановке или в случае параллельной работы нескольких насосов.

В зависимости от размеров и конфигурации трубопроводов для этой цели могут быть использованы клапаны NRV, CHV или SCA.

— Парообразный хладагент ВД  
— Жидкий хладагент ВД  
— Парообразный хладагент НД  
— Жидкий хладагент НД



**Рис.3.3.3: Установка фильтра осушителя в системе на CO<sub>2</sub>.**



3.3. Системы с насосной подачей (продолжение)

Рекомендуется устанавливать фильтры-осушители в нагнетательной линии насоса или в параллельной линии. Рекомендуется устанавливать параллельную линию так, как это должно предотвратить падение давления после насоса. Концентрация воды в нагнетательной линии имеет максимальное значение. Поэтому установкой фильтра-осушителя в нагнетательной линии насоса будет достигнуто оптимальное осушение системы на CO<sub>2</sub>.

Должна быть использована вставка фильтра, состоящая из чистого молекулярного сита. Для определения осушительной производительности фильтра используйте техническое описание для фильтров-осушителей, а для расчёта падения давления на фильтре используйте программу DIRcalc. Как для транскритических, так и для каскадных систем рекомендации по установке фильтров одинаковы.

3.4. Комбинированные системы

Комбинирование насосной циркуляции и непосредственного кипения производится в основном в тех случаях, когда необходимо обеспечить два температурных уровня (как правило, низкотемпературный и среднетемпературный). Необходимо, чтобы нагнетательный трубопровод насоса соединялся с коллектором подачи для нескольких камер, из которого потоки распределяются в низкотемпературные и среднетемпературные камеры.

Это гарантирует наличие постоянного достаточного напора жидкости и не допускает вскипание хладагента из-за низкой скорости потока перед расширительным клапаном AKV на линии подачи в низкотемпературные камеры. В некоторых установках расстояние от помещения холодильной машины до камер может превышать 100 м. Поэтому для обеспечения выполнения требований конструкции установки по обеспечению высокой скорости потока применение комбинированной системы является лучшим вариантом.



Рис. 3.4: Коллектор подачи для нескольких прилавков.

3.4 Выводы

Система	Система с непосредственным кипением хладагента	Система с насосной подачей	Комбинированная система
<b>Преимущества</b>	Простая компоновка.	Высокая эффективность. Хладагент может быть подан на относительно большую дистанцию.	Обеспечивается эффективная работа на два температурных уровня.
<b>Недостатки</b>	Не оптимальная энергетическая эффективность	Относительно сложная и дорогая система. Энергопотребление насоса часто очень высокое для небольших систем.	Относительно сложная и самая дорогая система из трёх представленных.
<b>Используемые компоненты, производимые компанией «Данфосс»</b>	GBC NRV или CHV DCR SGN	GBC NRV или CHV DCR SGRN+ AKS 41 EKC 347 AKV или ETS	GBC NRV или CHV DCR SGRN+ AKS 41 EKC 347 AKV или ETS

#### 4. Испарители

В системах, работающих на CO<sub>2</sub>, могут быть использованы два типа испарителей, один тип для систем с непосредственным кипением, а второй для систем с насосной подачей.

Разница заключается в конструкции теплообменников, а также компоновки испарителей запорными клапанами и регулируемыми устройствами. В результате кипения хладагента в испарителе достигается понижение температуры в камере, однако эффективность испарителя снижается на половину из-за необходимости проведения оттаек.

Конструкция змеевика испарителя системы CO<sub>2</sub> усовершенствована путём уменьшения размера трубок и снижением циркуляции, вследствие высокой объёмной производительности CO<sub>2</sub>. Благодаря этим изменениям, оттайки проходят быстрее. Вторым преимуществом таких испарителей является то, что система быстрее входит в нормальный режим охлаждения после оттайки по сравнению с системами на традиционных хладагентах.

##### 4.1. Испарители затопленного типа (насосная циркуляция)

Существует два вида испарителей: одноконтурные и многоконтурные. Как правило, испарители с насосной подачей являются среднетемпературными и используются для конденсации CO<sub>2</sub> в каскадных системах или имеют промежуточную температуру и используются в транскритических бустерных системах.

Главным преимуществом использования CO<sub>2</sub> является то, что при сохранении оптимального теплообмена и эффективности системы значительно уменьшены заправка хладагентом системы и размеры испарителей и трубопроводов. Для данного размера змеевика увеличена холодопроизводительность и улучшена циркуляция масла в системе.

Одноконтурный испаритель

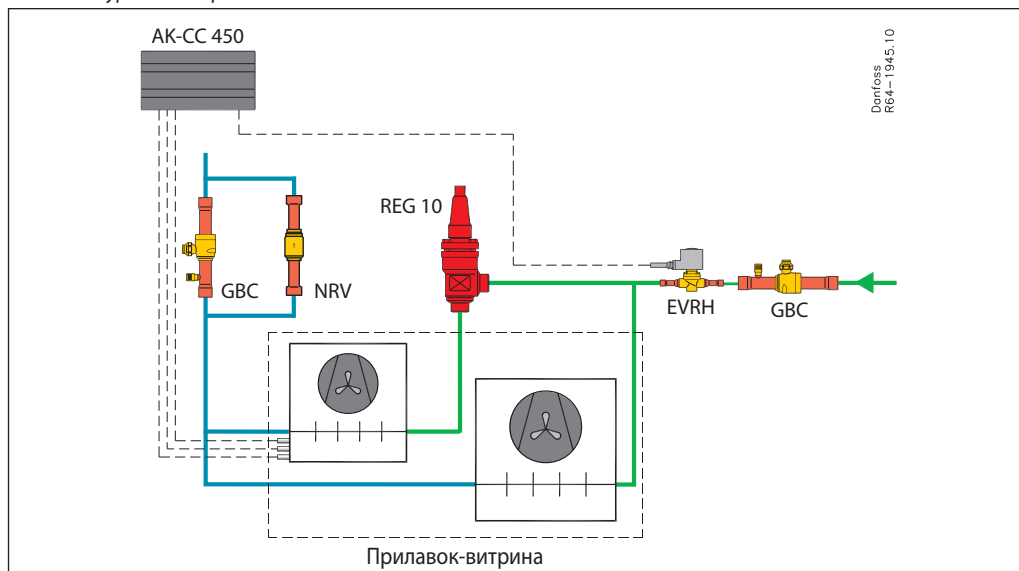


Рис. 4.1.1: Одноконтурный испаритель в системе с насосной циркуляцией

На рис. 4.1.1 показана типичная система с насосной циркуляцией, которая имеет два испарителя камер или прилавков разных размеров (меньший испаритель достигает заданной температуры быстрее). Для регулирования потоков хладагента в обоих испарителях, чтобы обеспечить равномерность подачи, используется механический регулирующий клапан (REG – 10), производимый компанией «Дanfoss». Этот метод регулирования выравнивает температуру в двух испарителях, имеющих разные размеры.

Основной жидкостной фильтр системы должен быть вскрыт и прочищен в течение первых 24 часов работы. При этом соответствующий участок системы должен быть отсечён отключением соленоидных клапанов.

Невыполнение данного требования может привести к тому, что соленоиды не будут плотно закрываться, а испарители будут обрастать льдом.

Одной из наиболее важных задач при пуско-наладочных работах, является чистка фильтров, стоящих в системе на CO<sub>2</sub>.

4.1. Испарители затопленного типа (насосная циркуляция) (продолжение)

Многоконтурный испаритель

На рис. 4.1.2 изображена типичная компоновка системы с насосной циркуляцией, используемая для охлаждения низкотемпературных помещений. Регулирующие клапаны REG 10, производимые компанией «Данфосс», устанавливаются перед каждым испарителем. Это сделано, чтобы обеспечить равномерную подачу жидкости в испарители.

Заданные значения температуры охлаждения прилавков и камер системы, работающей на CO<sub>2</sub> выше, чем у аналогичных традиционных систем с хлада-

гентами HFC. Это возможно благодаря использованию затопленного типа испарителей. После того, как соленоид, установленный на подаче, закрылся, температура воздуха продолжает охлаждаться ещё на 2-4 К. Эта величина зависит от внутреннего объёма змеевика и скорости циркуляции потока в нём.

Хладагент CO<sub>2</sub>, находящийся в змеевике испарителя продолжает кипеть, несмотря на то, что соленоидный клапан уже закрылся.

— Парообразный хладагент HD  
— Жидкий хладагент HD

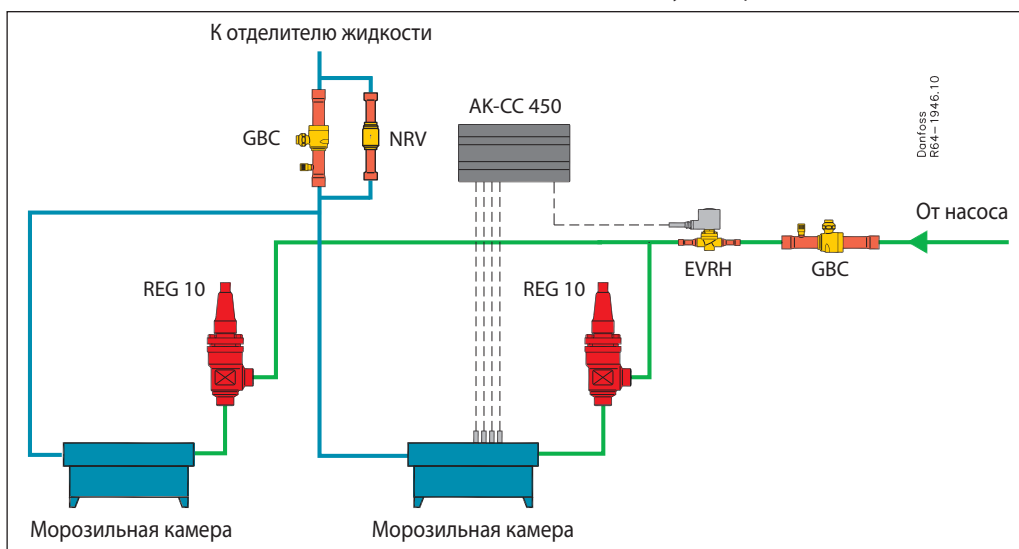


Рис. 4.1.2: Многоконтурный испаритель в системе с насосной подачей.

Электронное управление.

Существует три способа управления испарителем с насосной подачей:

- ◆ Централизовано через систему управления AK-SC 255 с добавлением модулей AK-XM I/O. Управление температурой и оттайкой осуществляется при помощи соленоидного клапана.
- ◆ Децентрализовано при помощи электронной системы AK-CC 750 или AK-CC450 и контроллера холодильной камеры.
- ◆ Децентрализовано через контроллеры ЕКС.

4.2. Непосредственное кипение

Испарители с непосредственным кипением используются обычно в низкотемпературных системах охлаждения (например, холодильные камеры или прилавки).

Благодаря эффективности CO<sub>2</sub>, размеры трубопроводов установок могут быть существенно уменьшены. Обычно диаметр составляет от 3/8" до 5/8", и для обеспечения требуемой производительности можно использовать испарители меньших размеров.

Оттайка установок супермаркетов, работающих на CO<sub>2</sub>, осуществляется рассолом или электроподогреваемыми элементами. Очень важно контролировать давление в системе в ходе проведения оттайки поскольку оно может легко превысить максимально допустимое значение для отдельных компонентов (обычно 46 бар ~10°C).

В каскадных системах на CO<sub>2</sub> рекомендуется устанавливать теплообменник на всасывающей линии компрессора, в котором будет осуществляться теплообмен между паром всасывающей линии и жидкостью высокого давления, поступающей с высокотемпературного контура.

Это необходимо для обеспечения перегрева на всасывании, осуществление которого требуют производители компрессоров. Данный перегрев нельзя обеспечить низкотемпературным жидким хладагентом CO<sub>2</sub> (так как в действительности произойдет переохлаждение).

4.2. Непосредственное кипение (продолжение)

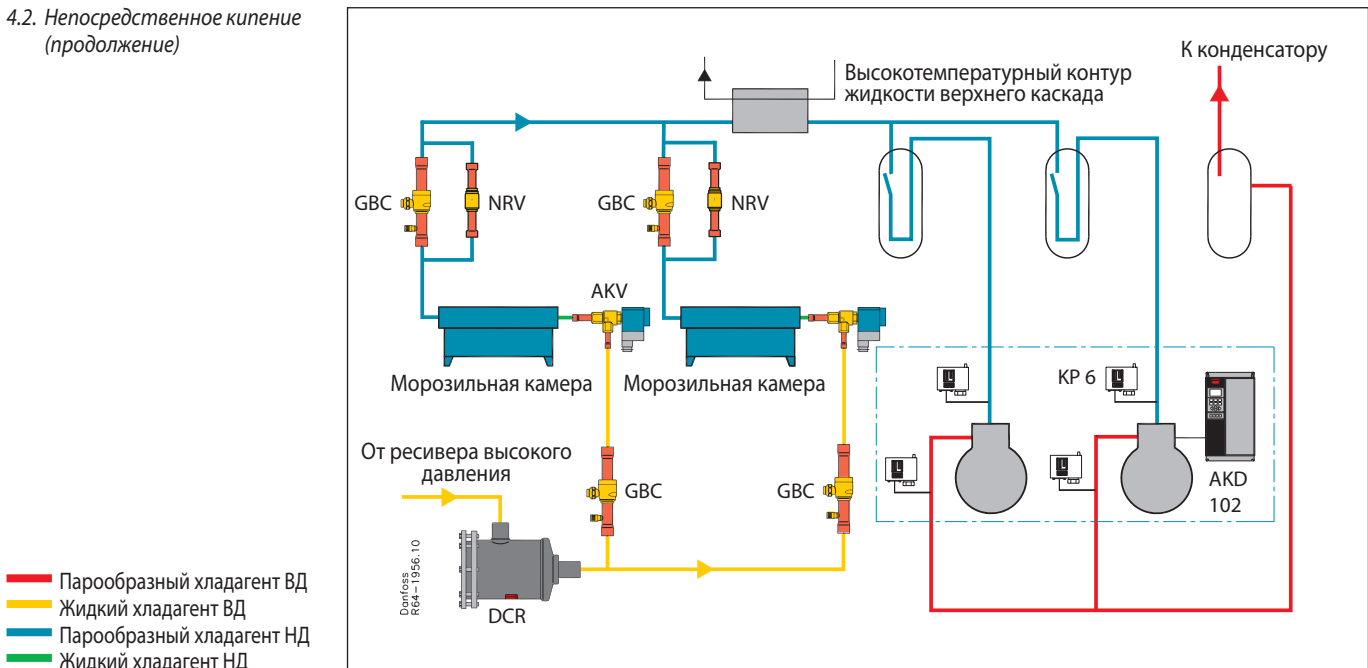


Рис. 4.2.1: Типичная низкая ступень системы, работающей на CO<sub>2</sub>.

Электронное управление

Крайне важно подобрать правильный электронный контроллер для управления хладагентом CO<sub>2</sub>. Этот газ обладает высокой динамикой. Так же как в случае с традиционными хладагентами, популярным является установка датчиков температуры на входе и выходе испарителя для определения перегрева хладагента.

Контроллеры АК-CC550 и АК-CC750 были специально разработаны компанией «Данфосс» для управления работой испарителей и хорошо зарекомендовали себя в этом применении.

Не рекомендуется использовать с CO<sub>2</sub> стандартный змеевик, применяемый с хладагентами HFC/HCFC так, как в этом случае практически невозможно контролировать перегрев.

При управлении перегревом в системе на CO<sub>2</sub> крайне важно получать точные значения перегрева для того, чтобы алгоритм контроллера своевременно реагировал на быстрые изменения давления в системе CO<sub>2</sub>.

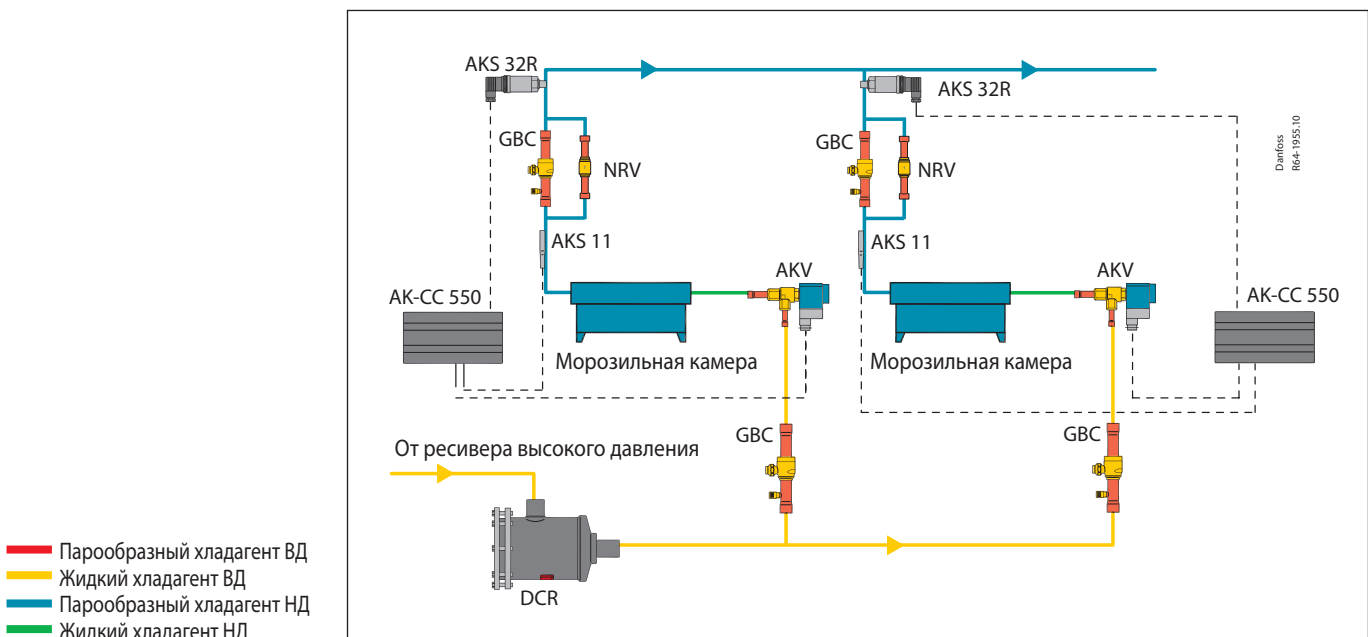
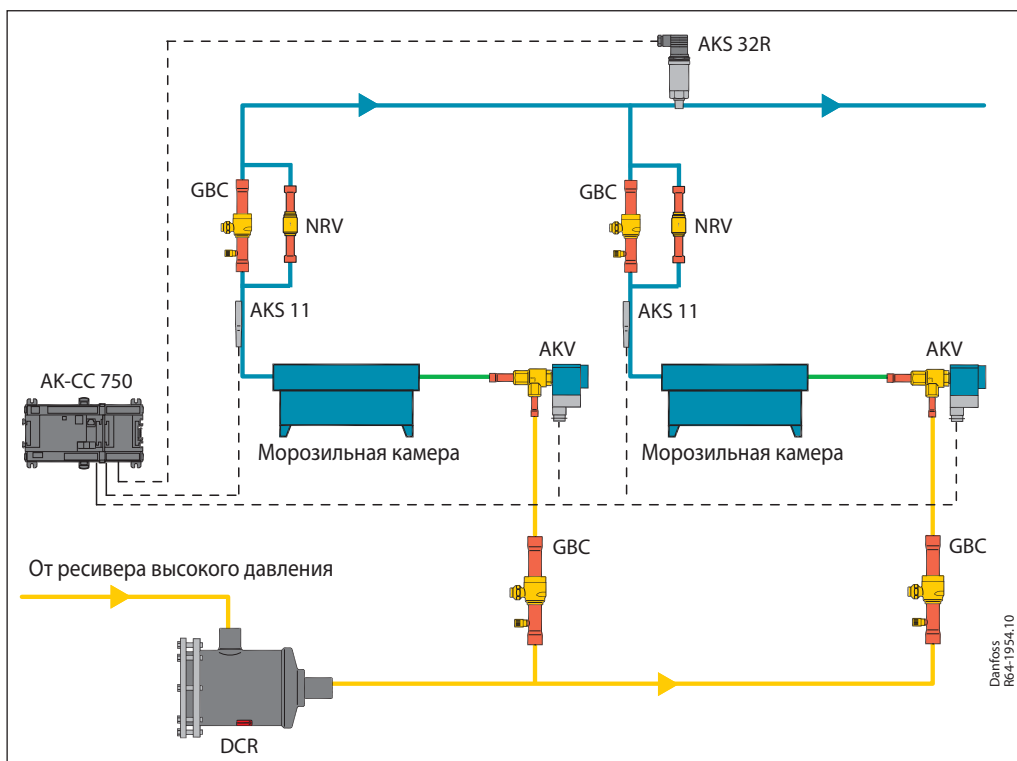


Рис. 4.2.2: Измерение перегрева при помощи датчиков температуры AKS и давления AKS32R (индивидуальные контроллеры).

4.2. Непосредственное кипение (продолжение)

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД



**Рис. 4.2.3: Измерение перегрева при помощи датчиков температуры AKS и давления AKS32R (1 контроллер управляет несколькими испарителями (до 4 шт.)).**

Важным является использование датчика температуры AKS11 (Pt1000) и датчика давления AKS 32R, чтобы быть уверенными в точности исходящих и поступающих сигналов.

Как показала практика, в некоторых случаях использование только двух датчиков для измерения перегрева в системе с динамичным хладагентом CO<sub>2</sub> недостаточно и поэтому существует опасность попадания жидкого хладагента во всасывание компрессора. Таким образом, некоторые конфигурации нельзя использовать для испарителей, работающих на CO<sub>2</sub>.

4.3 Выводы

Система	Система с непосредственным кипением хладагента	Система с насосной подачей
<b>Преимущества</b>	Оптимальный вариант для низкотемпературных применений	Позволяет работать при нулевом перегреве
<b>Недостатки</b>	Не оптимальная энергетическая эффективность	Требуется реле низкого давления
<b>Используемые компоненты, производимые компанией «Дanfoss»</b>	AK-CC750 AK-CC550 AKV AKS11 AKS32R GBC	AK-CC750 AK-CC450 ЕКC 414 или ЕКC 514 REG EVR AKS 12 GBC

## 5. Компрессоры

### 5.1. Типы компрессоров и оборудование аварийной защиты

В наше время несколько компаний могут предложить компрессоры для хладагента R744. Одни типы компрессоров находятся на стадии испытания опытного образца, другие уже несколько лет успешно эксплуатируются. Существуют компрессоры герметичного, полугерметичного и открытого типов как для субкритического, так и для транскритического цикла. Некоторые компрессоры для транскритического цикла являются одноступенчатыми, другие двухступенчатыми. Некоторые из транскритических компрессоров имеют промежуточное охлаждение или порт экономайзера. Транскритические компрессоры «Данфосс» для CO<sub>2</sub> типа TN специально разработаны для таких применений, как охладители бутылок и торговые автоматы. Объём одноступенчатых поршневых компрессоров, имеющих скорость вращения 2950 об/мин, составляет от 1 до 2,5 см<sup>3</sup>. Для транскритических систем компания «Данфосс» предлагает картриджные прессостаты Danfoss-saginomiya типа CCB. В маленьких герметичных системах используются расширительные устройства таких типов, как MBR и TBR, выполняющие так же функции предохранительных клапанов, перепуская давление со стороны

высокого давления на сторону низкого давления. (Смотрите так же Главу 9, которая посвящена простым транскритическим системам). В субкритических системах можно использовать реле давления КР 6, производимое компанией «Данфосс». Максимальное рабочее давление этого реле составляет 46.5 бар. Реле давления серии MBC 5000, предназначенное для эксплуатации в тяжёлых условиях, могут использоваться как субкритическими, так и в транскритических системах. Для контроля давления масла компрессоров используются так же дифференциальные реле давления MBC 5080 и MBC 5180. Однако необходимо обратить внимание на то, что устройства MBC не аттестованы на 4-ю категорию согласно Директиве ЕС о сосудах, работающих под давлением (PED). В качестве последнего уровня защиты должны всегда устанавливаться предохранительные клапаны. При использовании для регулирования дифференциальных реле давления, необходимо применять внешние реле задержки времени.

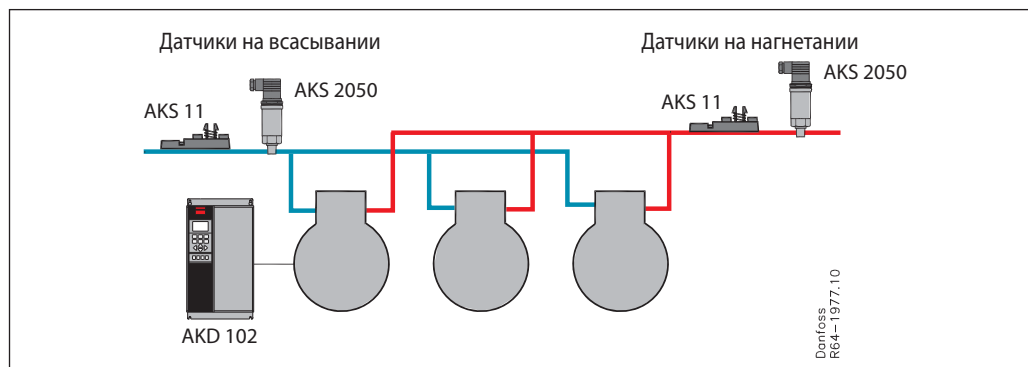
### 5.2. Регулирование производительности

Хладагент R744 обладает высокой эффективностью и динамичностью. При регулировании в режиме «вкл./выкл.» большую часть времени компрессорная централь работает с завышенной или с заниженной холодопроизводительностью по отношению к фактической тепловой нагрузке. При этом так же происходит колебания давления всасывания, что негативно влияет на систему смазки компрессора. Особенно к этому чувствительны компрессоры, работающие в системах на CO<sub>2</sub>. Когда работа одного из компрессоров регулируется приводом АКД 102 (привод с регулируемой частотой вращения), давление всасывания будет стабильно. При этом уменьшится число пусков и остановок других компрессоров.

Количество компрессоров подбирается в соответствии с требованиями по надёжности, общей стоимости и производительности.

На рис. 5.2.1 изображена компрессорная централь, в которой работа одного из компрессоров регулируется приводом АКД102 в соответствии с давлением всасывания, измеряемым датчиком AKS 2050.

На рис. 5.2.2 изображена диаграмма производительности компрессорной централи с 2, 3, 4 и 5 компрессорами, когда один из компрессоров управляется приводом АКД 102 с частотой 30...60... Гц



— Парообразный хладагент ВД  
— Парообразный хладагент НД

Рис. 5.2.1: Один из трёх компрессоров, подключённых параллельно управляется приводом АКД102.

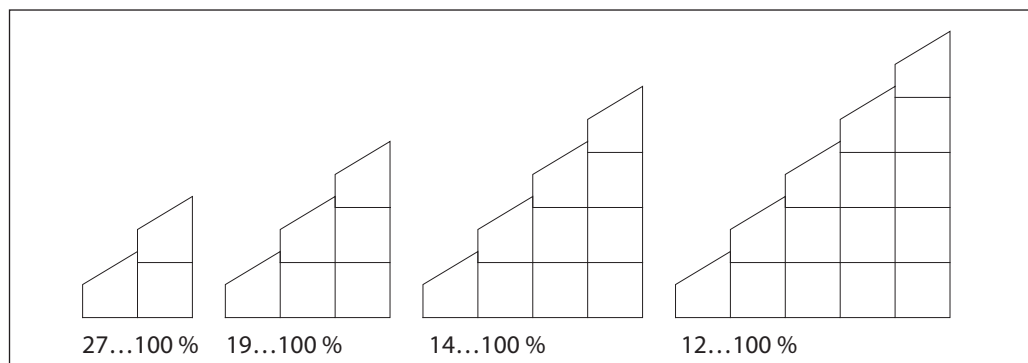


Рис. 5.2.2: Регулирование производительности, когда один компрессор работает с переменной частотой вращения 30-60 Гц, а остальные работают с частотой 50 Гц в режиме «вкл./выкл.».



5.2. Регулирование производительности (продолжение)

В ночное время и в выходные дни тепловая нагрузка может настолько снизиться, что даже наименьшая производительность установки может оказаться завышенной. Хорошим решением для этой ситуации является использование ещё одного компрессора, управляемого приводом AKD102 (смотрите рис. 5.2.3).

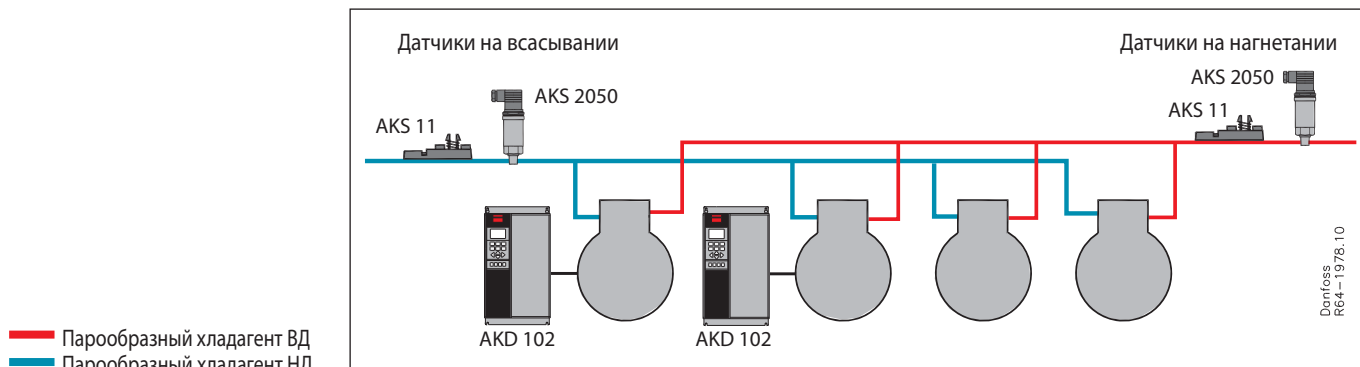


Рис. 5.2.3: Два из четырёх компрессоров подключены параллельно и управляются приводами AKD 102.

На рис. 5.2.4 изображены диаграммы производительности компрессорной централи с 2, 3, 4 и 5 компрессорами, когда 2 из них управляются приводами AKD с частотой 30...60 Гц. Это обеспечит плавное регулирование производительности от минимального значения до максимальной величины.

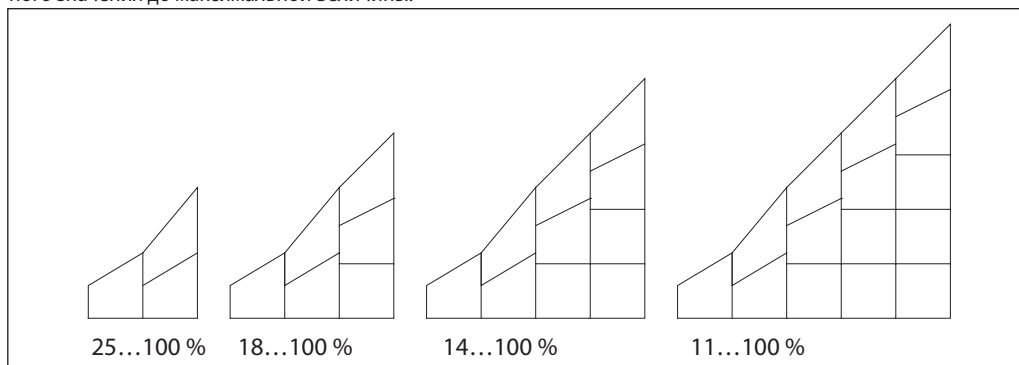


Рис. 5.2.4: Регулирование производительности, при котором два компрессора работают с переменной частотой вращения 30-60 Гц, а остальные работают в режиме «вкл./выкл.» с частотой 50 Гц.

В данном примере используются компрессоры одинаковых размеров. Используя компрессоры разных размеров можно так же добиться регулирования производительности даже без привода AKD. Однако необходимо в этом случае заранее продумать, что делать, если выйдет из строя самый большой компрессор.

Когда компрессор работает под управлением привода с регулируемой частотой вращения, значения минимальной и максимальной частоты вращения должны задаваться с учётом рекомендаций производителя компрессора. Расчёт и монтаж всасывающей и нагнетательной линий должен быть произведён таким образом, чтобы обеспечить нормальную циркуляцию масла при любой тепловой нагрузке.

## 5.3. Необходимое оборудование

Если компрессор не располагается в более тёплом или на более высоком месте, чем испаритель, то убедительно рекомендуется устанавливать на всасывающей линии отделитель жидкости (1). Это необходимо делать потому, что большинство поломок компрессора происходит в период запуска или заправки системы. Не смотря на то, что перед нормальной остановкой компрессора подача перекрывается и хладагент откачивается из испарителя, существует риск возникновения гидравлического удара, если происходит остановка из-за срабатывания приборов автоматической защиты

Если компрессор не имеет масляного насоса, то рекомендуется использовать регулятор уровня масла, который остановит компрессор, если уровень будет слишком маленьким.

Так же полезно устанавливать на маслосборник (4) и ресивер жидкости (8) датчики уровня (9), которые в случае слишком низкого уровня подадут сигнал тревоги.

Каскадный теплообменник (10) должен быть установлен и подключён таким образом, чтобы жидкость из него сливалась в ресивер жидкости. Проведение линии конденсата ко дну ресивера поможет осуществлять дренаж каскадного теплообменника.

В зависимости от конструкции системы, на холодной стороне каскадного теплообменника будет находиться хладагент или рассол. Если нагнетательный трубопровод, как в большинстве случаев, выполнен из стали и присутствует вибрация, то идеальным вариантом является применение обратного клапана CHV (11) на этой линии. Клапан поставляется с корпусом, выполненным из стали или из нержавеющей стали и имеет максимальное рабочее давление (MWP) 52 бара. Если трубопровод выполнен из меди, то используются обратные клапаны NRV и NRVH, имеющие максимальное рабочее давление 46 бар.

Фильтр (12) DCHR устанавливается на линии всасывания для защиты компрессора от мелких частиц грязи, которые могут присутствовать в системе. Фильтр DCHR может подсоединяться как к медным трубопроводам, так и к стальным.

компрессора или потери питающего напряжения. Установка должна быть спроектирована таким образом, чтобы избежать избыточного роста давления жидкости или газа в замкнутом участке холодильной системы при нормальной работе установки, а так же при проведении ремонтных и сервисных работ.

Система так же включает в себя компрессоры (2) и систему возврата масла, которая состоит из: маслосборника (4), дифференциального реле давления (5), масляного фильтра (6) и регулятора уровня масла (7).

Тот, кто предпочитает использовать трубопроводы из нержавеющей стали может использовать фильтры типа FIA.

Для системы на CO<sub>2</sub> мы рекомендуем в фильтр осушитель DCHR (13) устанавливать вставки из материала «молекулярное сито». Смотровое стекло (14) покажет, если относительная влажность хладагента CO<sub>2</sub> станет слишком высокой.

Для медных трубопроводов используются запорные шаровые клапаны GBC (15).

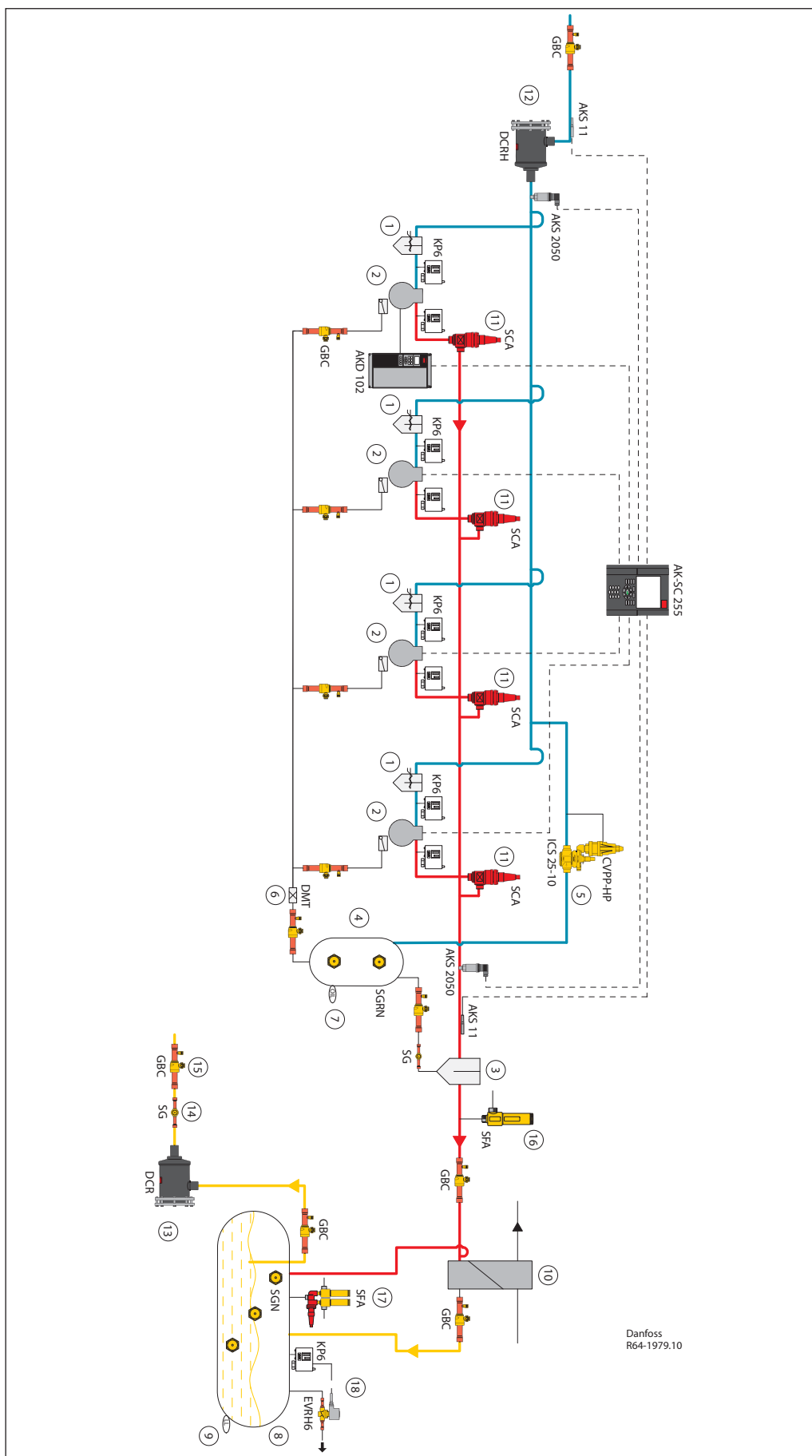
Для трубопроводов из стали и нержавеющей стали компания «Данфосс» предлагает использовать запорные клапаны SVA, которые имеют широкий модельный ряд и запорные игольчатые клапаны SNV-ST в качестве сервисных клапанов.

Предохранительные клапаны SFA 15 (16) защищают систему от избыточного давления в системе. На ресивере жидкости обычно устанавливается два предохранительных клапана с использованием двойного запорного клапана DSV (17).

Иногда ресивер жидкости снабжается регулятором давления (реле давления KP6 или датчик давления MBC), который подаст сигнал тревоги и откроет соленоидный клапан EVRH (18), когда давление достигнет величины близкой к давлению, открывающему предохранительный клапан. Таким образом, в большинстве случаев потери CO<sub>2</sub> будут минимизированы.

Транскритические системы описаны в Главе 10.

5.3. Необходимое оборудование (продолжение)



- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД

Рис. 5.3.1: Схема субкритической холодильной системы на CO<sub>2</sub> с компрессорной централью.

5.4. Полный контроль

Для каскадной холодильной системы очень важно, чтобы хотя бы один компрессор высокотемпературного контура уже работал при запуске первого компрессора низкотемпературного контура. В противном случае компрессор низкотемпературного контура может быть остановлен из-за слишком высокого давления нагнетания. Так же важно, чтобы клапан ЕТС начал подавать хладагент в каскадный теплообменник одновременно с запуском первого компрессора низкотемпературного контура. При остановке последнего компрессора низкотемпературного контура клапан ЕТС должен прекратить подачу хладагента в каскадный теплообменник.

Контроллеры АК-SC 255, АК-PC 730 и АК-PC 840, производимые компанией «Данфосс» специально оснащены регулируемыми функциями для осуществления вышеперечисленных операций.

Переключение между работой в транскритическом и субкритическом циклах и оптимизация давления в газоохладителе осуществляется с помощью контроллера ЕКС 326А и моторного клапана ICMT.

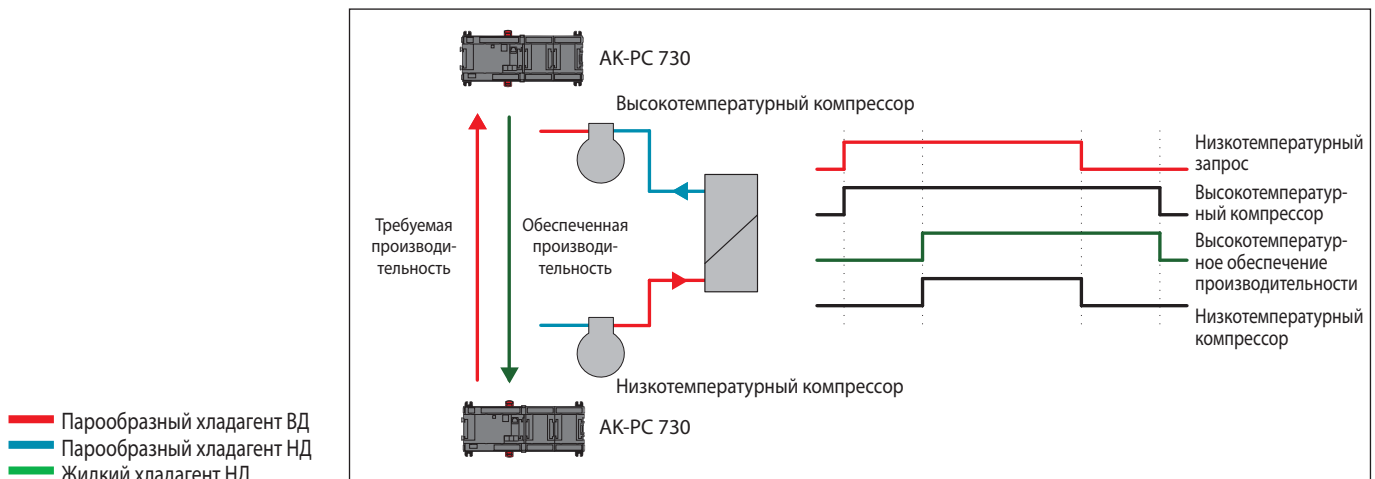


Рис. 5.4.1: Управление каскадных систем

**6. Системы в режиме остановки**

6.1 Общее описание

Первым шагом при определении давления в системе, задаваемого при проектировании, является определение параметров системы. Проектное давление зависит от следующих параметров:

- ◆ Давление во время работы.
- ◆ Давление во время простоя.
- ◆ Требуемая температура для оттайки.
- ◆ Допустимая величина превышения рабочего давления свыше, которой произойдёт срабатывание предохранительных клапанов (10-15%).

Как правило, давление в системе во время простоя является основным ограничивающим параметром для определения проектного давления системы на CO<sub>2</sub>. Большинство установок, работающих на традиционных хладагентах, могут быть остановлены, не опасаясь того, что величина давления превысит максимальное рабочее значение (MWP) для компонентов системы. Для системы на CO<sub>2</sub> давление при простое может достигать величины 65-80 бар (что соответствует температуре 25-30°C). Это превышает величину максимального рабочего давления большинства компонентов, представленных на рынке. Если

нельзя сконструировать систему, которая будет выдерживать такие высокие давления при её простое, то необходимо принять меры для того, чтобы понизить давление как в транскритической, так и в каскадных системах.

Существует два главных фактора, которые определяют давление CO<sub>2</sub> при простое:

- ◆ температура окружающей среды;
- ◆ степень заправки системы.

Пока CO<sub>2</sub> находится в виде жидкости, давление в системе будет равно давлению насыщения, соответствующая окружающей температуре (например, если окружающая температура равна 20°C, то давление соответственно будет примерно 57 бар).

Если CO<sub>2</sub> находится в виде газа, то его давление не является насыщенным и растёт медленнее, хотя величина этого давления будет выше, чем у традиционных хладагентов при тех же условиях. Например, если весь хладагент CO<sub>2</sub> превратится в газ при температуре 0°C, то соответственно его давление будет равно 34,8 бар. Если потом окружающая температура вырастет до 30°C, то величина давления увеличится только до 42,5 бар.

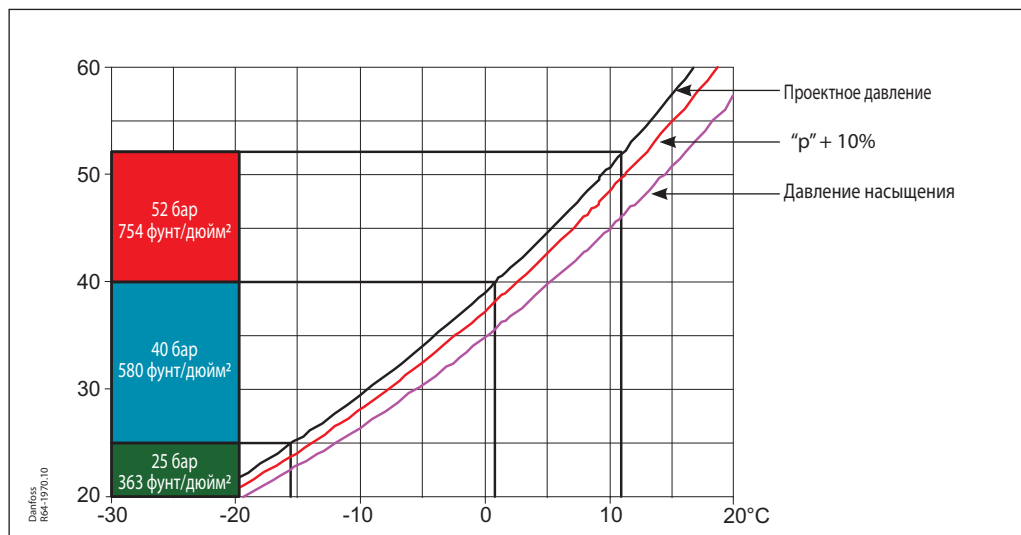


Рис. 6.1.1: Проектное давление/температура для CO<sub>2</sub>

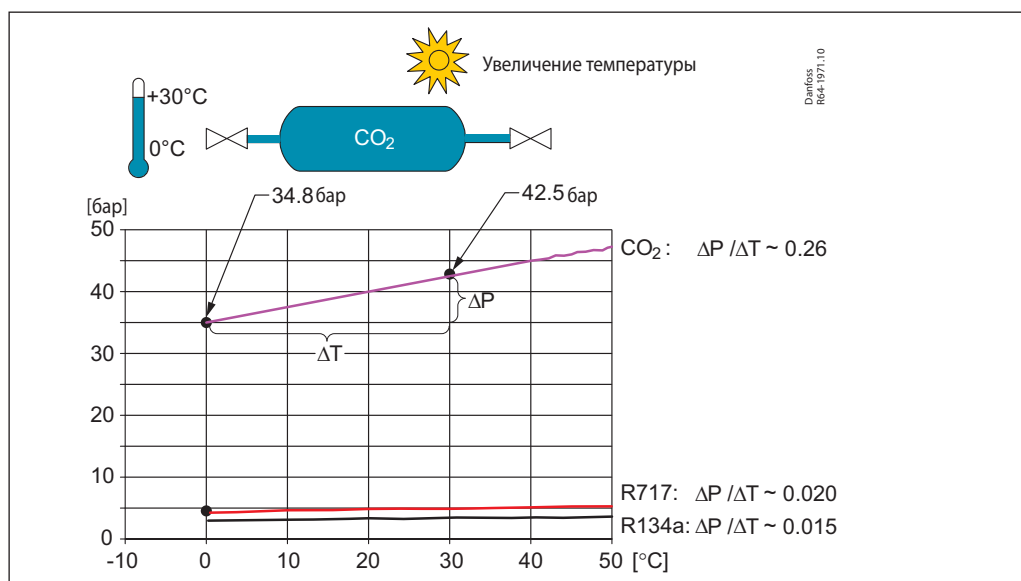


Рис.6.1.2: Расширение жидкого хладагента CO<sub>2</sub>

6.1 Общее описание  
(продолжение)

Этот принцип может быть использован для ограничения роста давления в системе. См. 6.4

Наиболее типичные способы поддержания давления на низком уровне следующие:

6.2. Вспомогательная система охлаждения

Когда давление в простаивающей системе на CO<sub>2</sub> начинает расти, запускается вспомогательная холодильная установка и охлаждает ресивер с хладагентом CO<sub>2</sub>, тем самым не давая давлению превысить максимально допустимый уровень. Генератор получает сигнал от реле давления, установленного на ресивере (реле типа КР6 или датчика давления MBS 5000, в зависимости от величины давления). Для охлаждения ресивера хладагента CO<sub>2</sub> используется небольшой компрессорно-конденсаторный агрегат. Эта система более типична для крупных коммерческих холодильных систем (например, систем больших супермаркетов или гипермаркетов, распределительных складов и т. д.). Модельный ряд небольших компрессорно-конденсаторных агрегатов Optima™, производимых компанией «Данфосс» идеально подходит для таких применений.

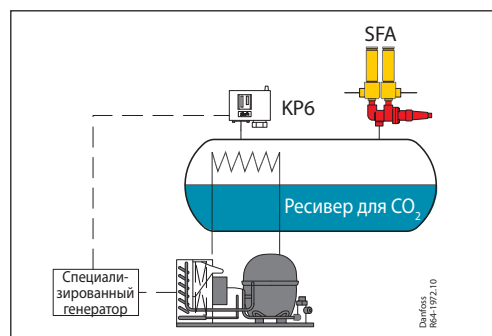


Рис. 6.2.1: Вспомогательная холодильная система

6.3. Выпуск CO<sub>2</sub>

При увеличении давления в системе небольшое количество CO<sub>2</sub> может быть выпущено в атмосферу до того как оно не достигло величины, предусмотренной проектом.

Давление в системе уменьшается благодаря следующим событиям:

- ◆ Выпуск небольшого количества CO<sub>2</sub> в атмосферу.
- ◆ Охлаждение оставшегося жидкого хладагента CO<sub>2</sub> благодаря вскипанию.

Когда давление в ресивере вырастет выше величины, заданной на клапане CVP-XP, этот клапан начнёт открываться и выпускать небольшое количество CO<sub>2</sub> в атмосферу. Так как, клапан CVP-XP является пропорциональным регулятором, то давление будет снижаться медленно и лишь небольшое количество хладагента будет выпущено. Для этой цели может быть использован клапан-регулятор давления ICS. В небольших системах применяется клапан CVP-XP, установленный в корпусе CVH. Когда давление в ресивере понижается, жидкость в нём начинает кипеть. Это приводит к понижению температуры и ещё большему снижению давления в ресивере.

Если величина давления превысит давление открытия клапана CVP-XP на 10-15%, клапан откроется полностью и большое количество CO<sub>2</sub> будет выпущено в атмосферу.

Этот способ может быть экономически эффективен так, как только небольшое количество CO<sub>2</sub> выпускается в атмосферу.

Другой дополнительной опцией является установка соленоидного клапана EVRH6 на трубе, выходящей из ресивера.

Клапан находится под управлением контроллера АК-РС 255 управляющим системой, а так же контроллера АК-РС730 или АК-РС840, которые поочередно получают сигнал от датчика давления AKS 2050.

Очень важно устанавливать соленоидный клапан EVRH6 на выходе из трубы, чтобы не допустить образования сухого льда при выпуске CO<sub>2</sub>. Система получается более простой, если использовать EVR6 (NO) и реле давления КР6.

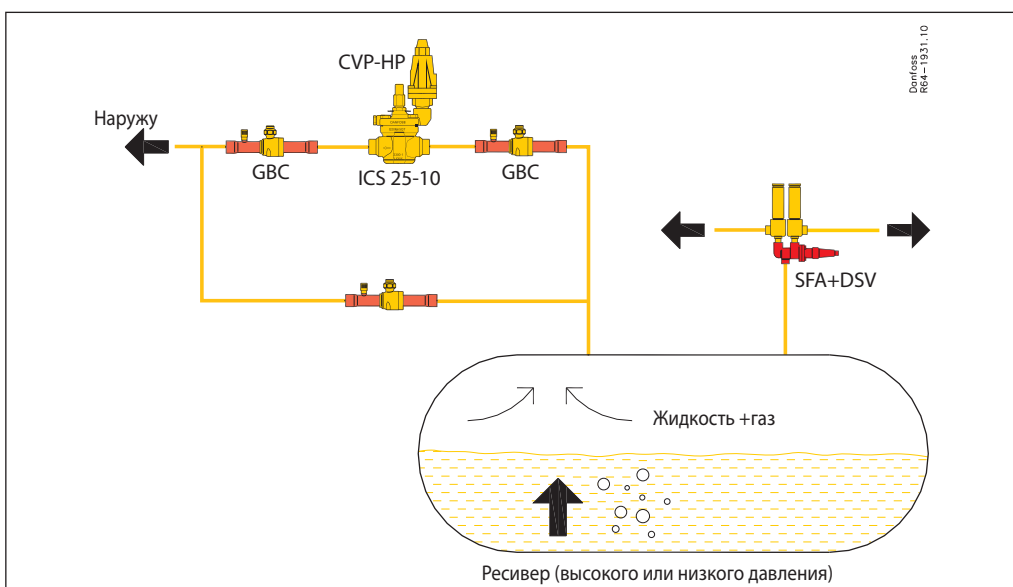


Рис. 6.3.1: Выпуск CO<sub>2</sub> из системы при помощи регулирующего пилотного клапана.

— Жидкий хладагент ВД



6.3. Выпуск CO<sub>2</sub>  
(продолжение)

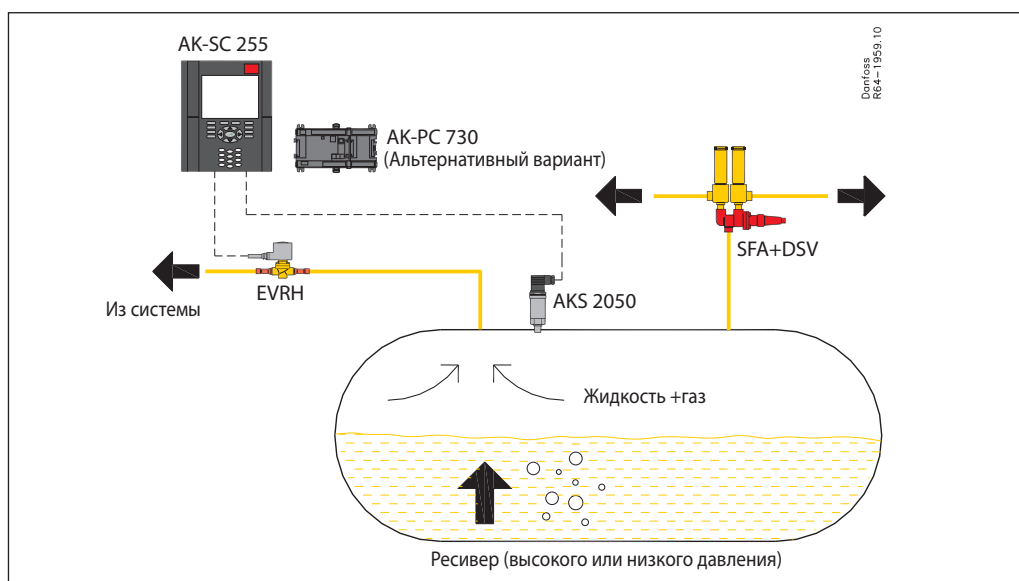


Рис. 6.3.2: Выпуск CO<sub>2</sub> из системы при помощи регулирующего пилотного клапана.

Жидкий хладагент ВД

6.4. Расширительный ресивер  
для CO<sub>2</sub>

В системе с ограниченным количеством заправляемого хладагента для поддержания приемлемого уровня давления может быть использован отдельный расширительный ресивер для CO<sub>2</sub>. Когда давление в системе увеличивается, хладагент CO<sub>2</sub> перепускается в этот ресивер через клапан NRV. Расширительный ресивер должен быть относительно больших размеров, чтобы принять количество хладагента достаточное для поддержания

постоянного давления в остальной части системы. При запуске системы газ CO<sub>2</sub> возвращается во всасывающую линию через регулятор давления ICS, на котором установлен пилот CVC-HP. Если система небольшая, то пилот CVC-HP устанавливается непосредственно в трубопровод при помощи корпуса CVH.

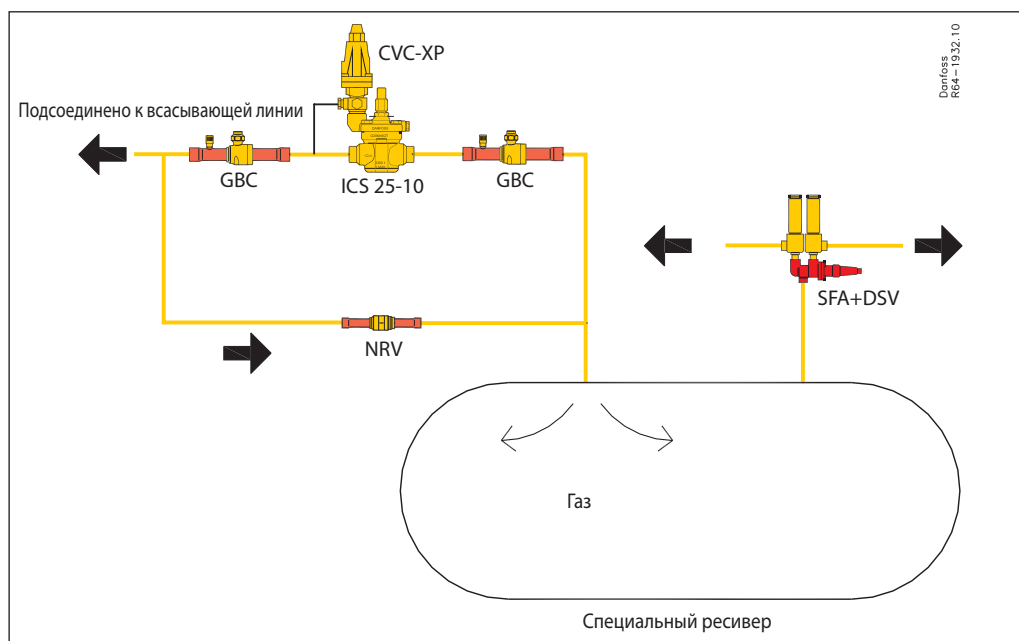


Рис. 6.4: Расширительный ресивер для CO<sub>2</sub>

Жидкий хладагент ВД

## 6.5 Выводы

Система	Вспомогательный компрессорно-конденсаторный агрегат	Выпуск CO <sub>2</sub>	Расширительный ресивер
<b>Преимущества</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Не выбрасывается CO<sub>2</sub> в атмосферу.</li> <li>- Не требуется установка расширительных ресиверов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Простая конструкция.</li> <li>- Не требуется установка дополнительных или специальных ресиверов.</li> <li>- Не требуется дополнительный источник энергии.</li> <li>- Может стоить относительно дешево.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Не выбрасывается CO<sub>2</sub> в атмосферу.</li> <li>- Не требуется дополнительный источник энергии.</li> </ul>
<b>Недостатки</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Наличие ресивера специальной конструкции.</li> <li>- Требуется бесперебойная подача питающего напряжения.</li> <li>- Требуется использование вспомогательного хладагента.</li> <li>- Может стоить относительно дорого.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Газ CO<sub>2</sub> выпускается в атмосферу.</li> <li>- Требуется точный расчёт заправки хладагентом.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Требуется установка дополнительного ресивера.</li> <li>- Требуется точный расчёт заправки хладагентом.</li> <li>- Может стоить относительно дорого.</li> </ul>
<b>Используемые компоненты, производимые компанией «Данфосс»</b>	Компрессорно-конденсаторный агрегат Ортута™ Датчик давления MBS 5000 или реле давления КР	ICS+CVP-XP или CVH+CVP-XP Шаровый клапан GBC Предохранительный клапан SFA15 EVR NO КР	ICS+CVC-XP или CVH+CVC-XP Шаровый клапан GBC Предохранительный клапан SFA15 Обратный клапан NRV

## 7. Рекуперация тепла для систем на CO<sub>2</sub>

### 7.1 Общее описание

Системы рекуперации тепла для холодильных установок описаны во многих книгах и статьях. По желанию заказчика наличие рекуперации тепла в холодильной установке на CO<sub>2</sub> обеспечивается при проектировании.

Наличие рекуперации тепла может быть реализовано разными способами. Два основных принципа описаны ниже:

- ◆ а) частичная рекуперация тепла;
- ◆ б) полная рекуперация тепла.

При проектировании системы некоторые условия должны быть тщательно рассмотрены:

- ◆ Конденсация жидкости в устройстве рекуперации.
- ◆ Избегание кипения на стороне воды.

- ◆ Качество воды, уровень карбоната кальция, бактерий и т. д.
- ◆ Диапазон рабочих температур: избегание слишком высокой и слишком низкой температур конденсации.

Широко известно, что рекуперация тепла в системах на CO<sub>2</sub> идеально работает в транскритическом режиме.

Но даже в субкритическом режиме рекуперация тепла в системах на CO<sub>2</sub> более эффективна, чем в аналогичных системах на 134а и 404А. В этом режиме так же возможно достичь высоких температур благодаря распределению тепла в конденсаторе. Когда температура конденсации равна +15°C, примерно 30% тепла может быть восстановлено при температуре +60°C.

### 7.2. Рекуперация тепла (тепловой насос), простая система

Простейшая система без переохладителя изображена на рис. 7.2.1.

Система ограничена функциональностью водяной стороны так, как тепло на водяной стороне должно постоянно отводиться из холодильного цикла.

Недостатком данной системы является то, что в ней намного трудней определить правильное место установки газоохладителя.

- ◆ Управление компрессором АК-РС 255, АК-РС730 или АК-РС840.
- ◆ Управление газоохладителем ЕКС 326А плюс ICMT
- ◆ Управление перепускным клапаном ETS + ЕКС 326А

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД

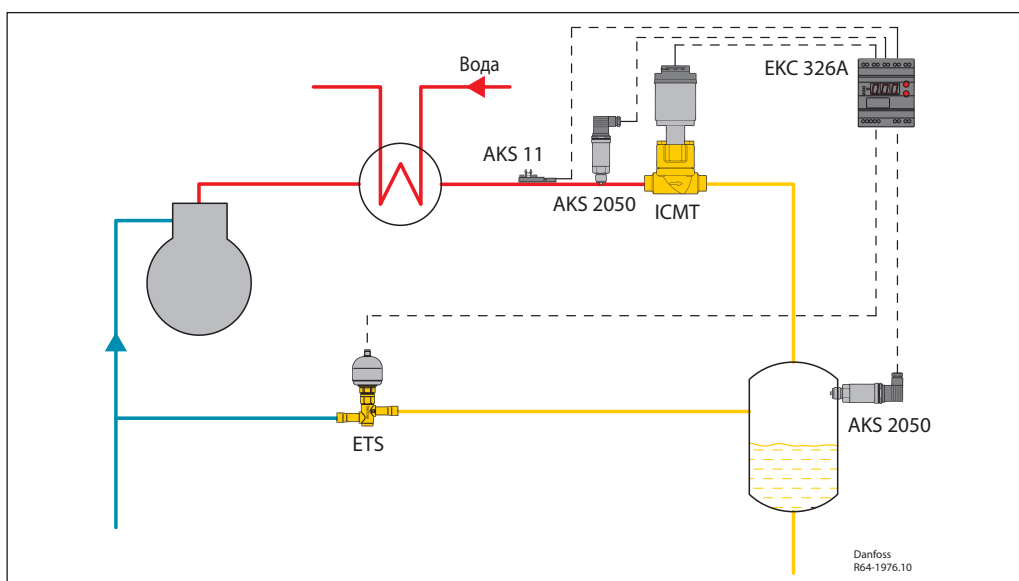


Рис.7.2.1: Простая система рекуперации.

Как правило, размеры теплообменников систем рекуперации должны быть правильно рассчитаны, чтобы обеспечивать продолжительную работу так, как это способствует надёжному управлению водяной системой и газоохладителями.

Переохладитель должен быть оптимизирован под условия работы системы.

Главной причиной для использования двух теплообменников является возможность иметь два независимых потока воды, что позволяет получить наилучшие эксплуатационные характеристики.

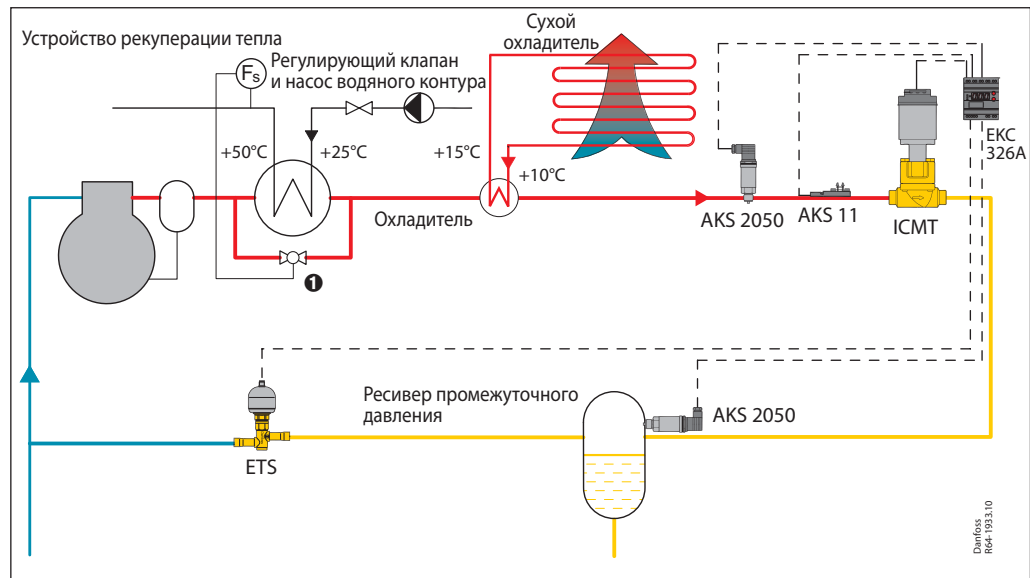
Клапан используется, когда водяной поток отсутствует и он работает при этом только в режиме «вкл./выкл.». Когда водяной насос остановлен, клапан открывается и перепускает CO<sub>2</sub>. Это осуществляется для того, чтобы избежать перегрева воды в теплообменнике. Для выполнения этой задачи может быть использован клапан ICMT.

Управление клапаном высокого давления производится как обычно при помощи контроллера ЕКС 326А.

Контроллер ЕКС 326А может так же управлять клапаном ETS, который используется для перепуска газа, когда работает клапан ICMT.

- ◆ Управление компрессором АК-РС 255, АК-РС730 или АК-РС840.
- ◆ Управление газоохладителем ЕКС 326А плюс ICMT
- ◆ Управление перепускным клапаном ETS + ЕКС 326А
- ◆ Управление сухим охладителем АК-РС420

7.2. Рекуперация тепла (тепловой насос), простая система (продолжение)



— Парообразный хладагент ВД  
 — Жидкий хладагент ВД  
 — Парообразный хладагент НД

Рис.7.2.2: Система рекуперации тепла (или тепловой насос)

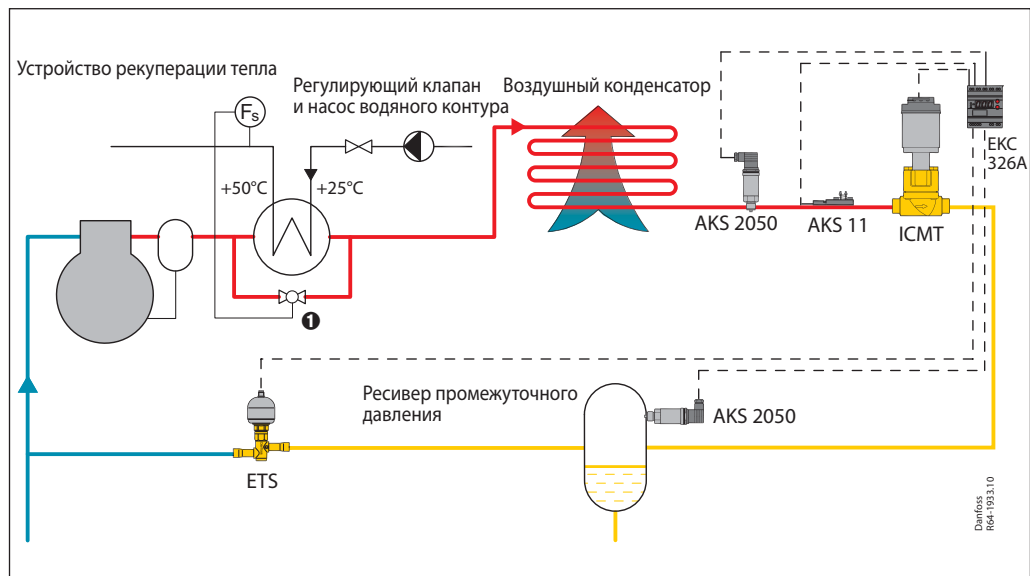
7.3. Частичная рекуперация тепла

Данная система подобна ранее рассмотренной за исключением только того, что в ней традиционный газоохладитель объединён с рекуперационным устройством. Это делает систему более гибкой.

Главным преимуществом данной системы является возможность приспособить систему к определённым нуждам, гарантируя хорошее охлаждение на стороне высокого давления холодильного цикла.

- ◆ Управление компрессором АК-РС 255, АК-РС730 или АК-РС840.
- ◆ Управление газоохладителем EKC 326A плюс ICMT
- ◆ Управление перепускным клапаном ETS + EKC 326A
- ◆ Управление сухим охладителем АК-РС420

Благодаря новой конструкции, в контроллере EKC 326 реализована возможность управлять клапанами ETS и ICMT одновременно.



— Парообразный хладагент ВД  
 — Жидкий хладагент ВД  
 — Парообразный хладагент НД

Рис. 7.3: Система с частичной рекуперацией

## 7.4 Выводы

Система	Простая система рекуперации	Система полной рекуперации тепла (тепловой насос)	Система с частичной рекуперацией тепла
<b>Преимущества</b>	Простота системы	Высокие эксплуатационные характеристики	Гибкость системы
<b>Недостатки</b>	Трудно поддерживать стабильную температуру	Сложность системы: необходимость в установке двух теплообменников	Необходимость в заправке большего количества хладагента
<b>Используемые компоненты, производимые компанией «Данфосс»</b>	ICMT ЕКC 326А ETS AKS 2050 AK-PC 730 (или AK-PC840) AK PC 420 AK-SC 255	ICMT ЕКC 326А ETS AKS 2050 AK PC 730 (или AK-PC840) AK PC 420 AK-SC 255	ICMT ЕКC 326А ETS AKS 2050 AK PC 730 (или AK-PC840) AK PC 420 AK-SC 255

## 8. Каскадные системы на CO<sub>2</sub>

### 8.1 Введение

Каскадные системы, как правило, не используются в холодильных системах с традиционными хладагентами. Для этого имеется несколько причин. Во-первых, в этом случае необходимо обеспечить использование двух различных хладагентов в одной системе. Во-вторых, стратегия управления такой системой (особенно системой с каскадным теплообменником) гораздо сложнее. В то же время использование углекислого газа CO<sub>2</sub> в каскадных системах дает целый ряд преимуществ:

- ◆ Рабочее давление CO<sub>2</sub> в каскадных системах не высокое (обычно 40-45 бар).
- ◆ Эффективность такой системы довольно высока даже в условиях жаркого климата.
- ◆ Для высокотемпературного контура требуется очень небольшое количество хладагента.
- ◆ Разность температур у каскадного теплообменника относительно низкая.

Примеры типичных каскадных компоновок представлены в Главе 3 (рис. от 3.1.1 до 3.1.3). На высокотемпературной стороне могут использоваться хладагенты HC, HFC или NH<sub>3</sub>. Обращаем Ваше внимание на то, что применение хладагентов HC регулируется местным законодательством. Аммиачно-углекислотные каскадные системы имеют самый высокий коэффициент полезного действия. Если в высокотемпературном контуре требуется использовать фреон, то предпочтительной маркой является R134 благодаря его термодинамическим свойствам и более низкому (по сравнению с R404A) негативному воздействию на окружающую среду (ПГП).

Отвод тепла производится от низкотемпературной к высокотемпературной стороне как показано рис. 8.1 и поэтому очень важно правильно рассчитать конденсатор высокотемпературной стороны.

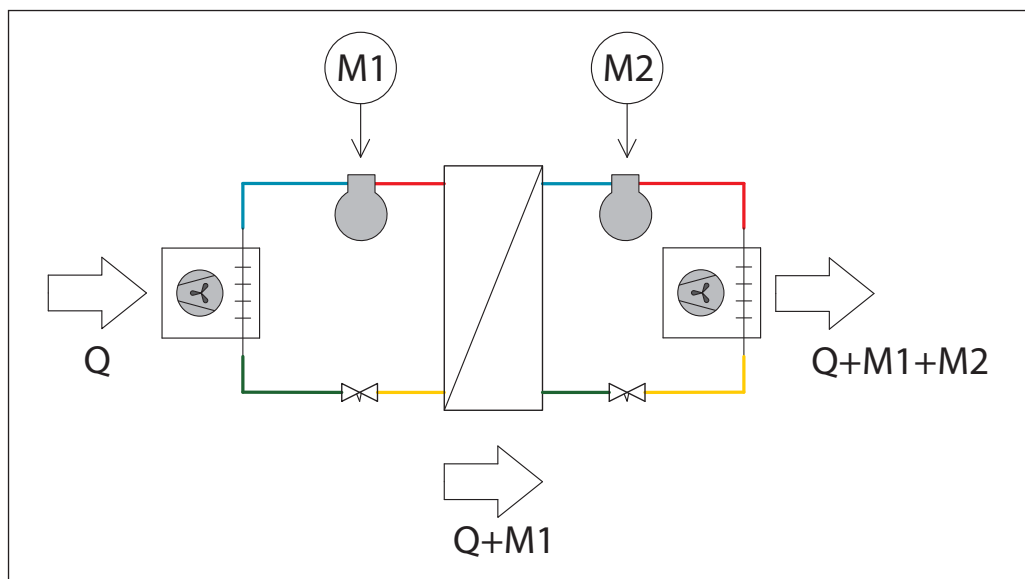


Рис. 8.1: Передача энергии в каскадной системе

### 8.2. Температура и давление в каскадных системах

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 углекислым газом. 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 CO<sub>2</sub> обычно основано на доступности компонентов и равно 40–45 бар (что соответствует температуре от +5 до +10°C).

Чтобы не допустить превышения вышеуказанных значений, рекомендуются использовать системы с фиксированным давлением. Предохранительные клапаны должны иметь наибольшее заданное давление срабатывания.

Например:  
Сторона CO<sub>2</sub>

- ◆ Проектное давление системы (температура насыщения всасываемых паров): 40 бар (+5 °C)
- ◆ Наибольшее заданное давление срабатывания предохранительного клапана: 36 бар (-10% MWP (максимальное рабочее давление))
- ◆ Давление срабатывания аварийной разгрузки системы: 34 бар (-1 °C)
- ◆ Заданное значение давления нагнетания CO<sub>2</sub>: 30 бар (-5 °C)

Чем выше эффективность каскадного теплообменника, тем меньше разность между температурой конденсации CO<sub>2</sub> и температурой испарения хладагента на высокотемпературной стороне. По мере увеличения разности на каскадном конденсаторе общая эффективность холодильной системы уменьшается. Чем меньше эта разность температур, тем более дорогим является каскадный конденсатор.

8.2. Температура и давление в каскадных системах (продолжение)

В системах с низкими температурами углекислого газа на нагнетании (низкий перегрев) перегрев на расширительном клапане может быть важным фактором для определения размеров теплообменника.

Если углекислотная система имеет высокий перегрев, то потребуются использовать устройства для снижения температуры перегрева, которые позволят уменьшить нагрузку на высокотемпературной стороне.

Оптимальное промежуточное давление в углекислотных каскадных системах зависит от нескольких параметров (высокотемпературный хладагент, тип нагрузки и т.д.). Как правило, приходится рассматривать 2 случая:

- ◆ Системы с нагрузкой при средней температуре. В этом случае промежуточное давление должно быть как можно выше, для того чтобы уменьшить нагрузку на высокотемпературной ступени. В связи с этим потребуются установить ограничения требуемой температуры на промежуточном уровне и номинального давления системы.
- ◆ Системы без нагрузки при средней температуре. В этом случае средняя температура должна находиться в диапазоне от -10 °C до 0 °C (из-за высокого давления низкотемпературной углекислотной ступени), где нижний предел определяется эффективностью, а верхний предел — номинальным давлением системы.

8.3. Последовательность операций в работе каскадной системы

В каскадных системах важно, чтобы на высокотемпературной стороне работал, по крайней мере, один компрессор, чтобы можно было запустить первый компрессор на низкотемпературной стороне. В противном случае компрессор на низкотемпературной стороне будет выключаться из-за высокого давления.

Высокотемпературный расширительный клапан (ETS) на каскадном теплообменнике должен начать работу одновременно с высокотемпературными компрессорами. После этого клапан будет регулировать перегрев высокотемпературного газа. Далее, при повышении давления CO<sub>2</sub> во всасывающей линии запускаются низкотемпературные компрессоры.

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 хладагентом CO<sub>2</sub> низкотемпературной системы.

Контроллеры компрессорных центральных, производимых компанией «Данфосс», такие как АК-РС 740 и АК-РС 780, специально оснащены встроенными функциями управления, которые призваны координировать подобные процессы.

8.4. Инжекция в каскадный теплообменник

Инжекция жидкости в пластинчатый теплообменник является довольно сложным процессом. Этот теплообменник часто имеет небольшие размеры и поэтому временная константа у него очень низкая. В этом случае применение клапанов АКВ не рекомендуется.

Третья причина заключается в том, что углекислый газ имеет очень высокую интенсивность теплового потока, которая создает нестабильные условия на стороне испарения. В связи с этим рекомендуется уменьшать перегрев на стороне CO<sub>2</sub>.

Рекомендуется использовать моторные клапаны или клапаны другого типа, которые обеспечивают постоянный расход. Подача углекислого газа с пониженной температурой перегрева в каскадный теплообменник может быть рекомендована по трем причинам.

Распределение потоков на стороне CO<sub>2</sub> также является важной проблемой. Вот почему теплообменник должен быть рассчитан на непосредственное кипение, чтобы обеспечить равномерное распределение смеси газа и жидкости по полостям теплообменника.

Первая причина состоит в том, что газ часто имеет температуру 60 °C и, следовательно, его тепло можно рассеивать в окружающую среду или использовать для регенерации тепловой энергии безо всяких проблем. Вторая причина состоит в том, чтобы уменьшить тепловую нагрузку на теплообменник.

Если теплообменник рассчитан на соответствующую потерю давления при частичной нагрузке, подача и распределение масла должны работать практически во всех условиях.



8.5. Электронное управление каскадных систем

Обычно наилучшее регулирование каскадных теплообменников обеспечивается при помощи клапана ETS и контроллера ЕКС 316. Контроллер ЕКС 316 использует как температуру, так и давление, измеряемые на выходе из теплообменника для регулирования перегрева хладагента.

Датчик температуры должен располагаться на трубе вертикально, а датчик давления необходимо располагать в местах, где не может застаиваться жидкость или масло.

8.5.1. Каскадные системы на CO<sub>2</sub> с непосредственным кипением и насосной подачей

Каскадные среднетемпературные системы на CO<sub>2</sub> с насосной подачей применялись ещё в первых установках на CO<sub>2</sub>, когда углекислый газ вернулся в холодильную индустрию как хладагент и продолжают широко использоваться в наши дни.

с рассольными системами, делает эти установки уникальными.

Лучшим применением системы с насосной циркуляцией являются установки с относительно высокой производительностью.

В установках с небольшой производительностью или с сильно изменяющейся производительностью управление насосами системы является затруднительным.

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент НД
- Парообразный хладагент НД

Эффективность таких установок является одной из наиболее высоких, а небольшой размер трубопроводов, как для низкотемпературных, так и для среднетемпературных применений, по сравнению

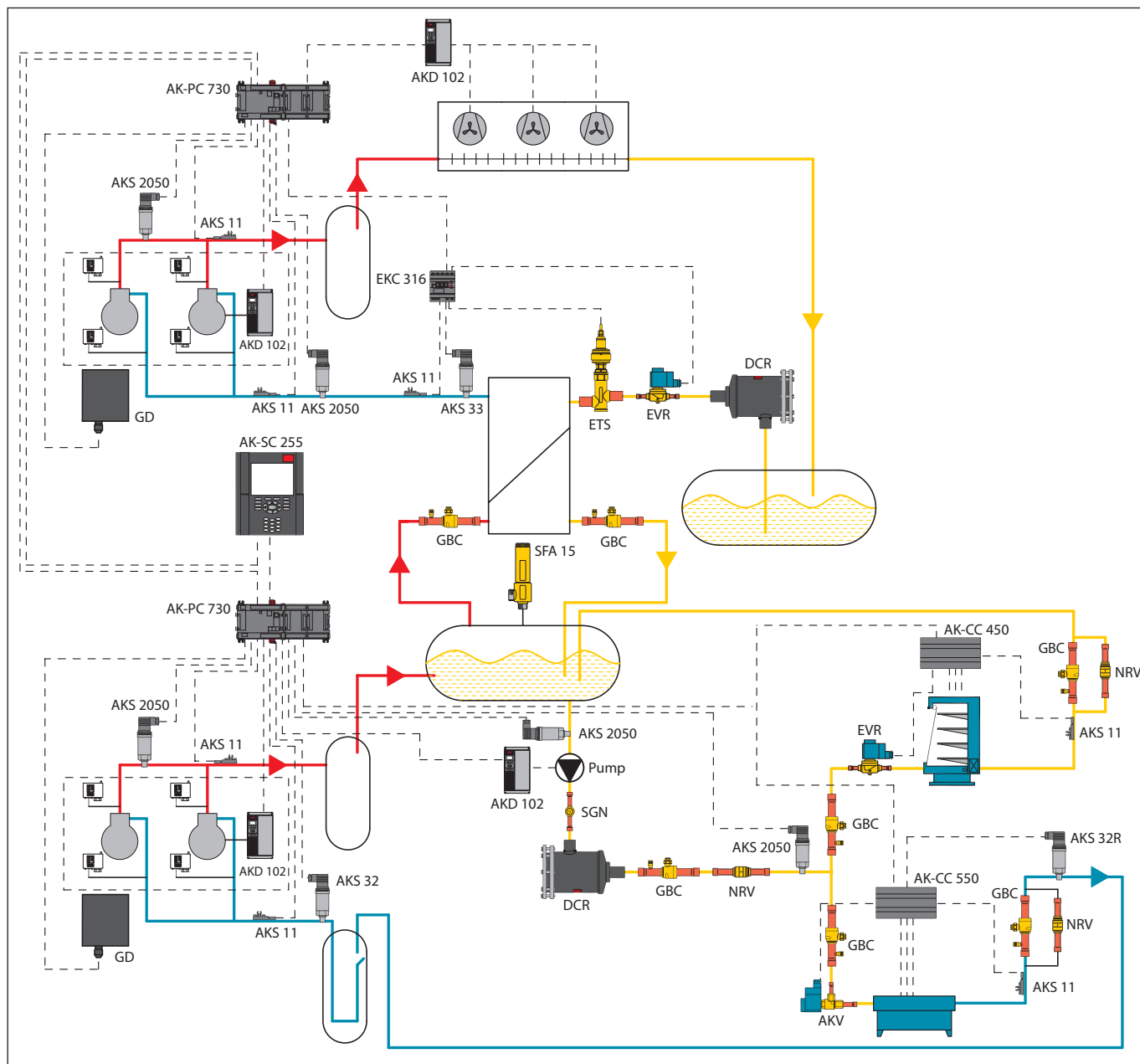


Рис. 8.2: Каскадные системы на CO<sub>2</sub> с насосной подачей (среднетемпературное применение) и с непосредственным кипением (низкотемпературное применение)

8.5.2. Использование каскадных систем в комбинации с рассольной системой

Каскадные системы, в которых рассол использовался в среднетемпературном контуре и хладагент CO<sub>2</sub> использовался в низкотемпературном контуре, были смонтированы ещё в 1998 году и всё ещё широко применяются в северных странах. Однако рассольные системы на CO<sub>2</sub> постепенно уходят в прошлое и заменяются каскадными или транскритическими системами.

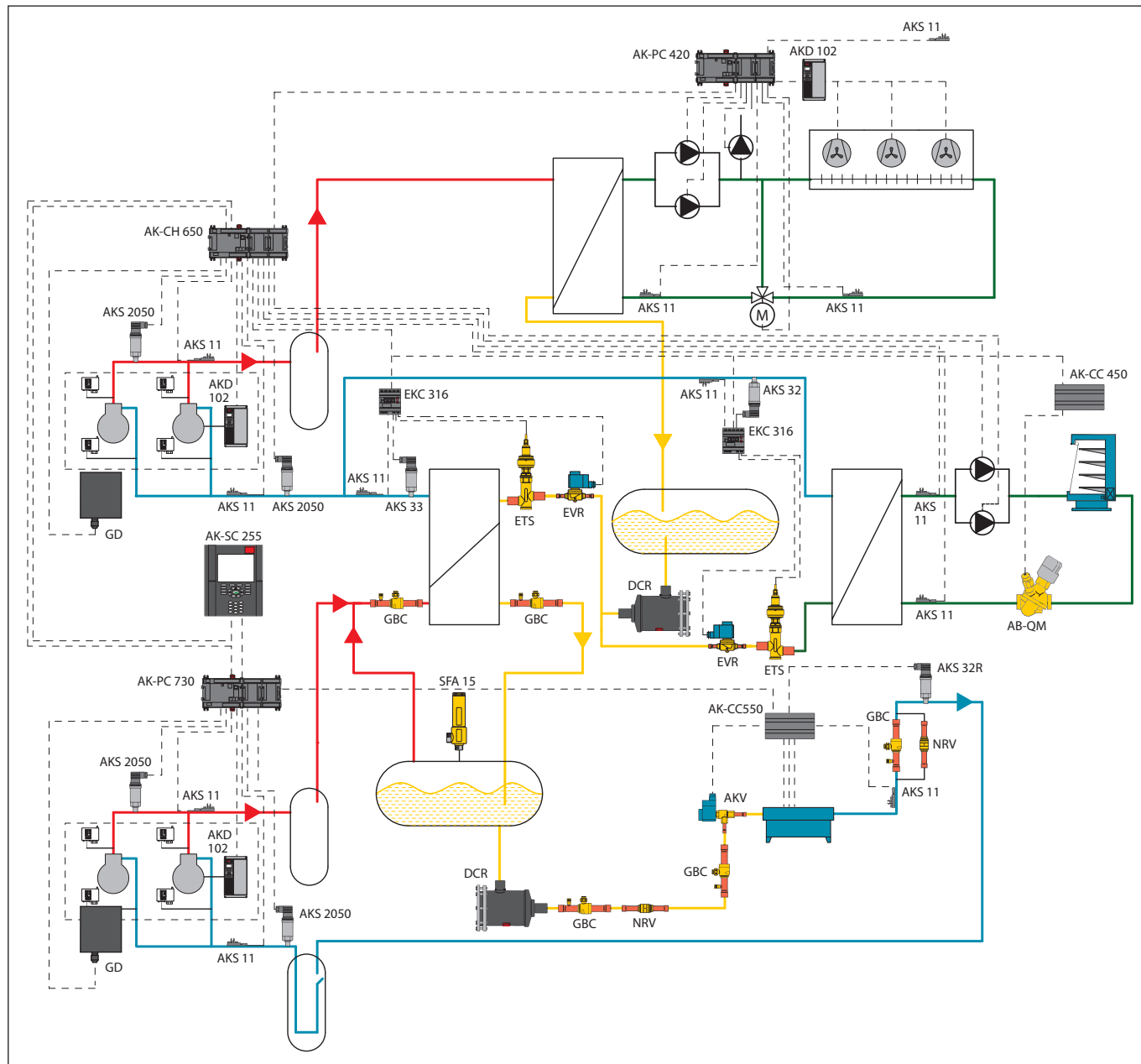


Рис. 8.3: Каскадные системы на CO<sub>2</sub> с рассолом (среднетемпературное применение) и непосредственным кипением (низкотемпературное применение).

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД
- Рассол

8.5.2. Использование каскадной системы в комбинации с рассольной системой (продолжение)

Преимущество рассольной системы заключается в том, что она имеет относительно медленную временную константу. Это облегчает регулирование работы компрессора. Замедляя работу системы рассол должен конденсировать CO<sub>2</sub>.

Преимуществом этого является упрощение регулирования работы каскадного теплообменника. Недостатком является то, что вместо одной температурной разницы появляется две. Максимальная температура конденсации устанавливает предел для температуры рассола.

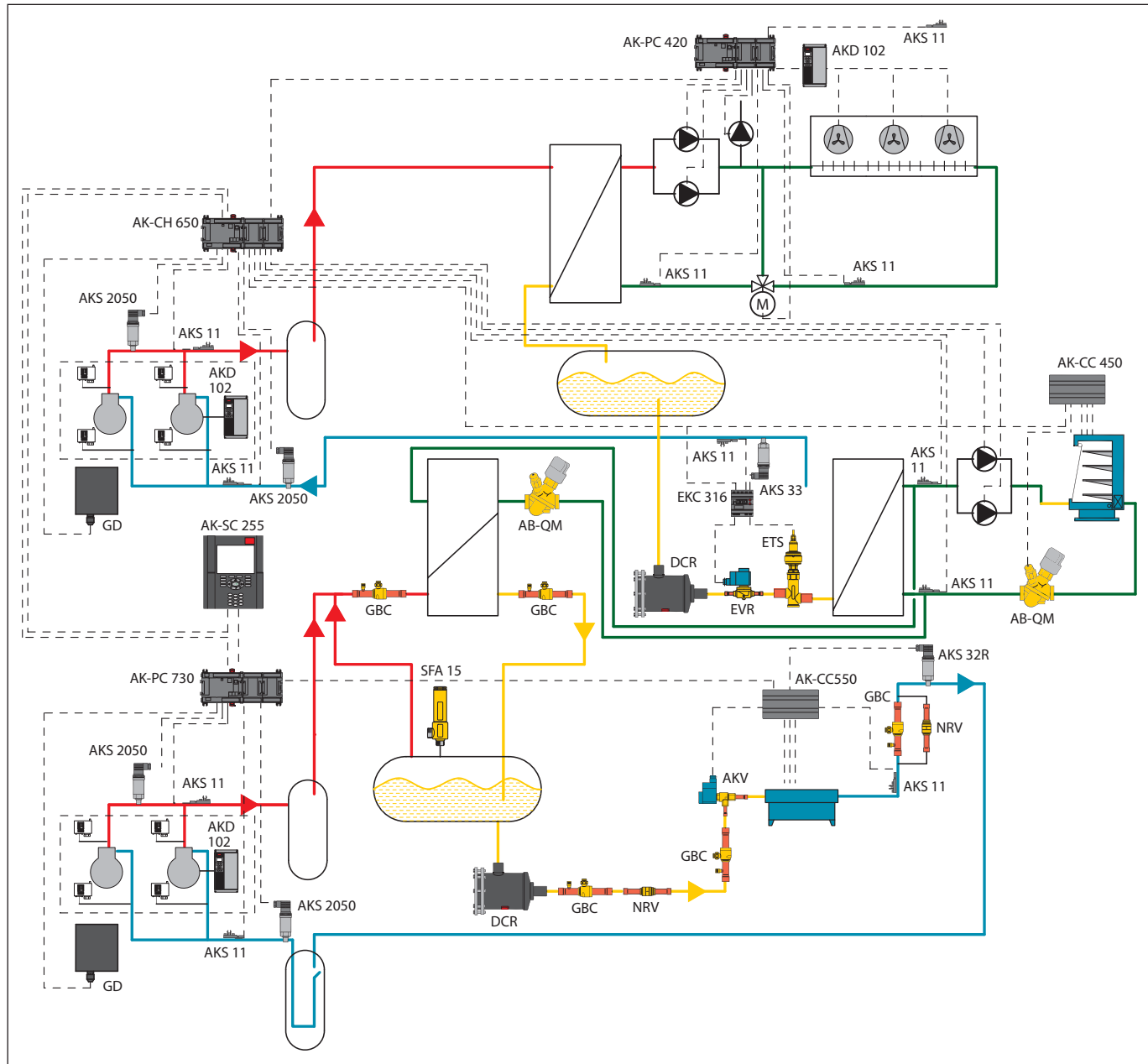


Рис. 8.4: Каскадная система на CO<sub>2</sub> с непосредственным кипением (низкотемпературное применение), рассолом (среднетемпературное применение) и каскадным теплообменником, охлаждаемым рассолом.

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Рассол

## 9. Простая конструкция транскритической системы для применения в секторе продовольственной торговли

### 9.1 Общее описание

Транскритические системы применяются в разных по сложности установках. Это могут быть как простые холодильные агрегаты, например, такие которые стоят в отдельных охлаждаемых витринах, так и сложные холодильные системы супермаркетов с компрессорными центральями.

Наиболее простые конструкции транскритических систем используются в холодильных агрегатах оборудования, устанавливаемого в зоне торговли или вне этой зоны.

Конструкции таких систем содержат несколько электронных компонентов с простыми устройствами регулирования высокого давления такими, как дроссельные отверстия или капиллярные трубки, которые выступают одновременно в роли расширительных устройств.

В установках с более высокой производительностью используются автоматические регуляторы обратного давления (для получения более подробной информации о свойствах CO<sub>2</sub> и по теории транскритического цикла мы рекомендуем воспользоваться литературой компании «Данфосс» под номером PZ.000.F1.02.)

На рис. 9.1.1 изображена схема простейшей транскритической установки. Установка состоит из компрессора (типа TN), газоохладителя, испарителя и расширительного клапана.

Простейшим устройством расширения являются устройства, создающие фиксированное препятствие для потока (например, дроссельное отверстие или капиллярная трубка).

В таких простейших установках нет регуляторов давления, и они, следовательно, работают при оптимальном высоком давлении и максимальной производительности при данных неизменных условиях работы.

Другим вариантом является использование термостатического клапана для регулирования температуры охлаждения газа.

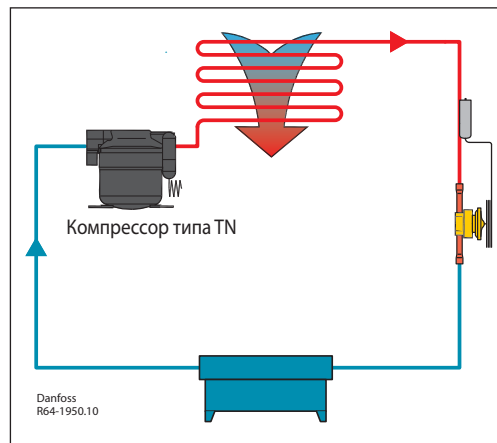


Рис. 9.1.1 Схема простейшей холодильной установки, работающей в транскритическом режиме.

Использование внутреннего теплообменника, служащего для осуществления теплообмена между всасывающей линией компрессора и нагнетательной линией из газоохладителя, позволяет улучшить работу установки. Если в качестве расширительного устройства используется капиллярная трубка, то внутренний теплообменник устанавливается с присоединением к линии всасывания и припаиванием капиллярной трубки к линии подачи, выходящей из теплообменника.

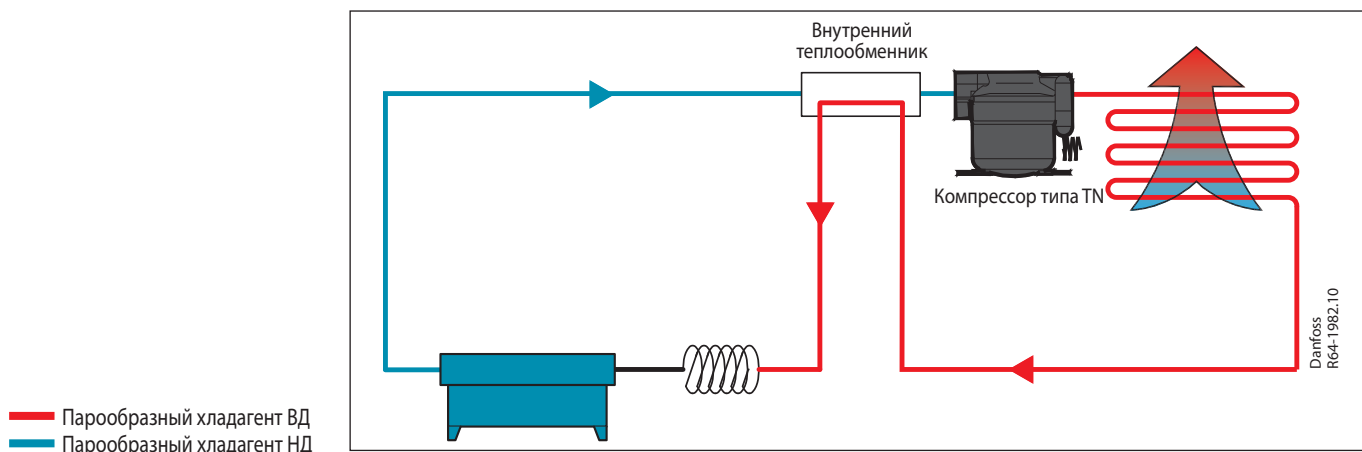
На рис. 9.1.2. изображена установка, которая работает при средних колебаниях окружающей температуры. Установка рассчитана на одну номинальную производительность.

Когда внешние эксплуатационные условия (температура окружающей среды, температура кипения при снижении температуры охлаждения в камерах

и т. д.) изменяются, поток хладагента в системе тоже будет изменяться. В результате этого изменится давление в газоохладителе.

В тех применениях, в которых происходит сильное изменение внешних условий и которые требуют соответствующее изменение производительности установки, необходимо использовать клапан, регулирующий высокое давление. Это может быть или механический или электронный клапан.

Дополнительно может потребоваться установка ресивера низкого давления для компенсации колебаний нагрузки на стороне высокого давления.



— Парообразный хладагент ВД  
— Парообразный хладагент НД

Рис. 9.1.2: Схема транскритической холодильной системы с внутренним теплообменником и фиксированным дросселирующим устройством в качестве расширительного.

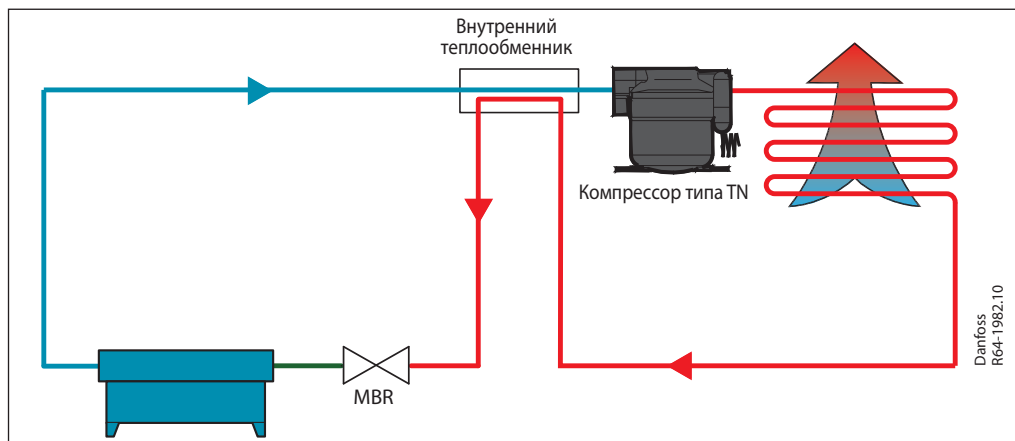
9.2. Система с автоматическим клапаном

Система с автоматическим клапаном изображена на рис. 9.2. Клапан чувствителен к давлению на входе в него рабочего потока (давление в газоохладителе). Он закрывается и открывается в зависимости от заданного на нём входного давления.

Автоматические расширительные клапаны могут использоваться при небольших колебаниях температуры внешней среды (например, только при температуре выше критической), но с возможностью системы обеспечивать несколько уровней производительности.

Давление на клапане задаётся вручную. Компания «Дanfoss» предлагает использовать для данных целей производимые ею клапаны типа MBR.

- Парообразный хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД



**Рис. 9.2:** Схема транскритической холодильной системы с внутренним теплообменником и автоматическим клапаном в роли расширительного клапана.

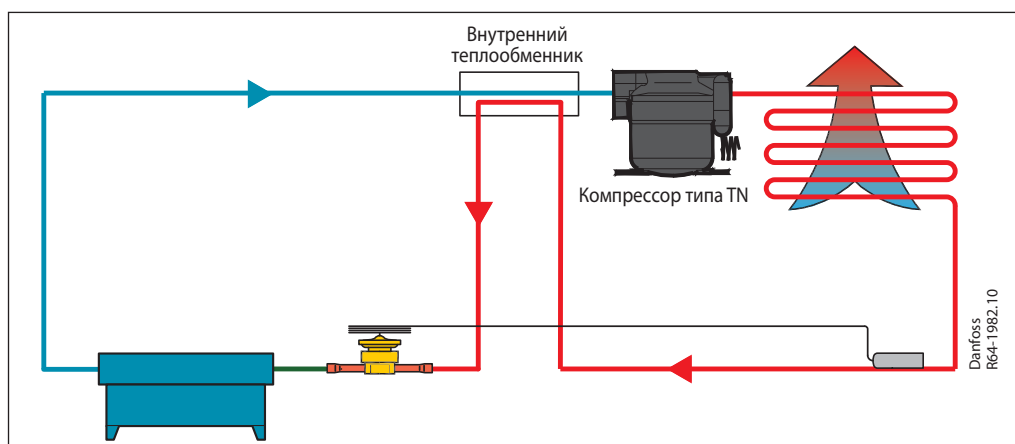
9.3. Система с термостатическим расширительным клапаном

Система с термостатическим расширительным клапаном изображена на рис. 9.3.1. Клапан имеет типичный термобалон (наполненный смесью жидкость/пар рабочего вещества), который измеряет температуру на выходе из газоохладителя и таким образом регулирует давление в газоохладителе.

Термостатический расширительный клапан может использоваться в системах, работающих при больших изменениях внешних условий работы и способных обеспечивать несколько уровней производительности.

В альтернативном варианте термобалон может измерять температуру воздуха обдувающего газоохладитель с воздушным охлаждением

- Парообразный хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД



**Рис. 9.3.1:** Схема транскритической холодильной системы с внутренним теплообменником и термостатическим расширительным клапаном в роли расширительного устройства

9.3. Система с термостатическим расширительным клапаном (продолжение)

Для улучшения эксплуатационных показателей этой системы может применяться ресивер низкого давления, как показано на рис. 9.3.2.

Когда температура термобалона термостатического расширительного клапана будет изменяться, хладагент высокого давления будет либо поступать в ресивер низкого давления, либо удаляться из него. Необходимо принимать специальные меры по предотвращению замазывания ресивера.

Это может быть обеспечено путём установки масляной дренажной линии, по которой жидкость, состоящая из смеси масла и хладагента будет маленьким потоком поступать из ресивера во внутренний теплообменник.

Для управления данной системой может использоваться простой контроллер (например, типа ЕКС 202).

— Парообразный хладагент ВД  
— Парообразный хладагент НД

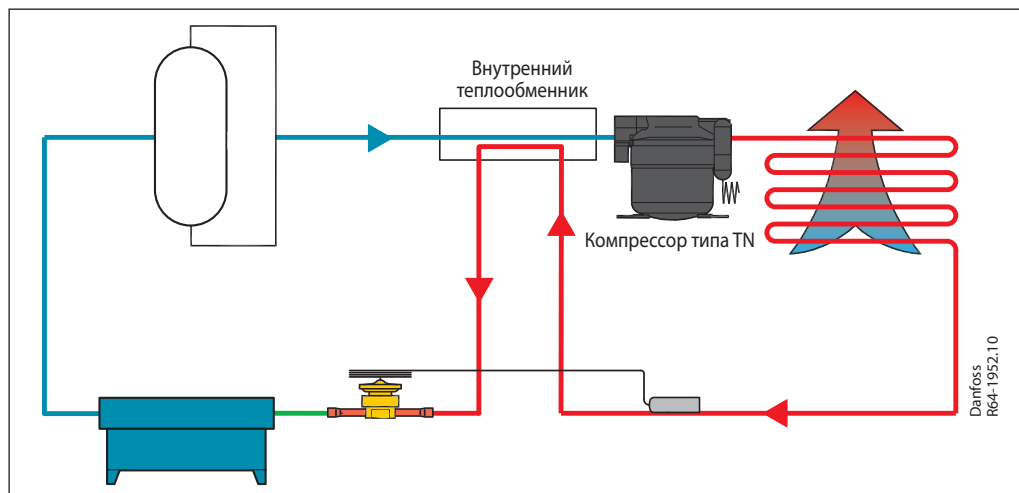


Рис. 9.3.2: Схема транскритической холодильной системы с внутренним теплообменником, термостатическим расширительным клапаном в роли расширительного устройства и ресивером низкого давления.

9.4. Система с электронным расширительным клапаном

Полный контроль и гибкость системы может быть обеспечены использованием электронного расширительного клапана JKV и контроллера EKC 326, получающим информацию об одной или нескольких температурах и давлениях в системе. Для шагового двигателя клапана необходимо использовать импульсный преобразователь.

На рис. 9.4 изображена схема системы, которая может работать при сильных изменениях внешних условий работы и при самых высоких требованиях по обеспечению необходимой производительности. Такая гибкость в управлении необходима только

для систем, используемых для лабораторных исследований.

Существуют так же другие конфигурации систем, не рассмотренные в данном документе. Выбор необходимой конфигурации системы зависит от требований, касающихся эксплуатационных характеристик системы при определённых условиях, заданных при проектировании.

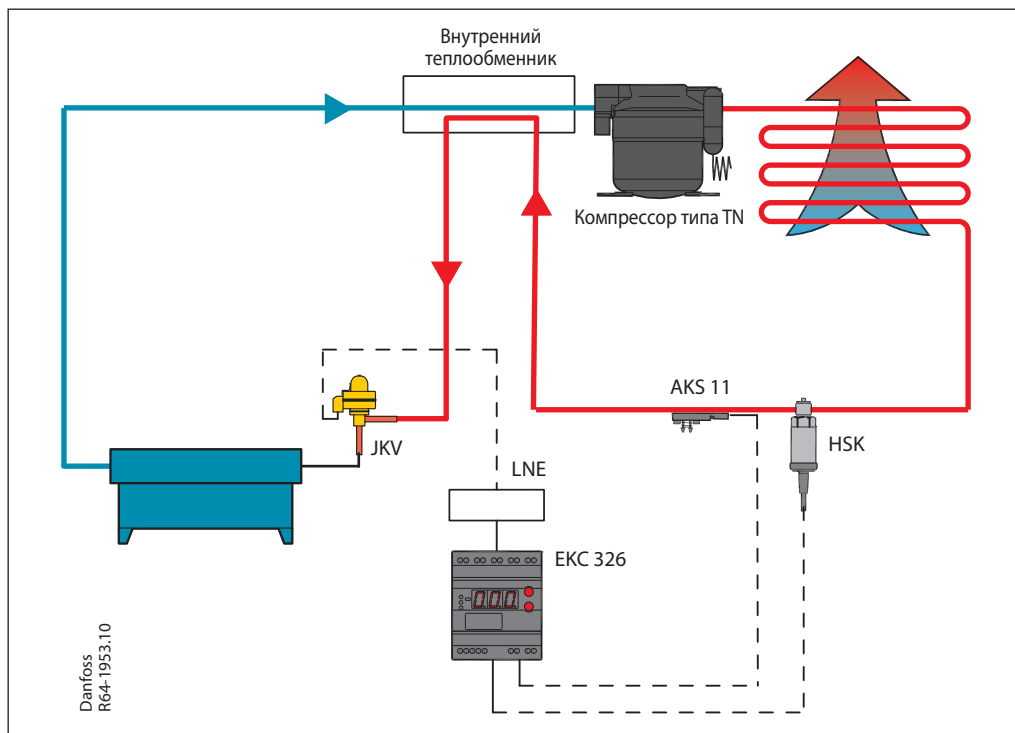


Рис. 9.4: Схема транскритической холодильной системы с внутренним теплообменником и управляемого электронным способом расширительным клапаном в роли расширительного устройства

— Парообразный хладагент ВД  
— Парообразный хладагент НД

9.5 Выводы

Система	Капиллярная трубка	Механический клапан	Термостатический расширительный клапан	Электронный расширительный клапан
<b>Преимущества</b>	Простота и надёжность	Настраивается на разную производительность	Настраивается на разную температуру окружающей среды	Обеспечивает полный контроль и оптимизацию системы
<b>Недостатки</b>	Система оптимизирована только под определённые условия	Настраивается только на одно значение; не реагирует на изменение температуры окружающей среды	Не оптимально работает при изменяющейся производительности	Наиболее сложная и дорогая система
<b>Используемые компоненты, производимые компанией «Данфосс»</b>	Компрессор TN	МВР Компрессор TN	Компрессор TN	JKV + импульсный преобразователь EKC 326 AKS 2050 AKS 11 Компрессор TN



## 10. Транскритическая бустерная система

### 10.1. Общее описание

Транскритическая бустерная система является одной из наиболее перспективных систем для применения в областях с холодным климатом. Причиной этому служат несколько факторов: транскритическая бустерная система бывает более экономична в плане энергопотребления в сравнении с системами, работающими на фреоне R404a, и в то же время она обладает упрощенной конструкцией.

Типичная транскритическая углекислотная бустерная система разделяется по давлению на три секции: секция высокого давления, секция среднего давления и секция низкого давления.

Секция высокого давления начинается с компрессора высокого давления (1), проходит через газоохладитель (2) и теплообменник на всасывающей линии (3), а заканчивается клапаном регулирования высокого давления (4). Расчетное давление в этой секции, как правило, составляет от 90 до 120 бар.

Система регулирования транскритической системы может быть разделена на четыре группы: управление газоохладителем, управление подачей, управление ресивером и управление производительностью компрессоров.

Секция среднего давления начинается от расширительного клапана высокого давления (4), где поток разделяется на газ и жидкость в ресивере (5).

Газообразная фаза отводится во всасывающую линию компрессора высокого давления через перепускной клапан (6). Жидкая фаза подается к расширительным клапанам (7 и 8), где происходит ее расширение перед подачей в низкотемпературный (10) и среднетемпературный (9) испарители.

Газ из низкотемпературного испарителя сжимается в низкотемпературном компрессоре (11) и смешивается с газами, поступающими из среднетемпературного испарителя и перепускной 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 — 25 бар. При этом наблюдается тенденция проектировать среднетемпературную и низкотемпературную секции на одинаковое давление.

Давление в ресивере регулируется клапаном с шаговым двигателем ETS (6). Давление в ресивере должно быть выше величины, при котором происходит испарение в среднетемпературных испарителях, для обеспечения разности давлений на среднетемпературном расширительном клапане (7).

С другой стороны, это давление должно быть ниже величины, заложенной при проектировании.

Всё представленное оборудование управления, за исключением контроллера газоохладителя, является стандартным оборудованием, производимым компанией «Данфосс» и широко используемым в традиционных системах холодильной промышленности.

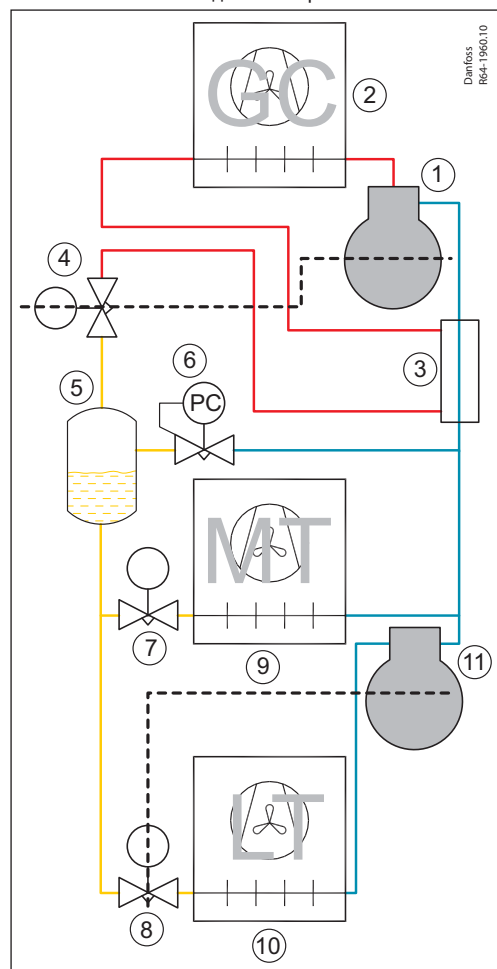


Рис. 10.1: Схема транскритической бустерной системы с газовым перепускным клапаном

- Парообразный хладагент HP
- Жидкий хладагент HP
- Парообразный хладагент LP

10.2. Транскритическая каскадная система

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

Контроллер компрессорной централи АК-PC 730, регулирует давление конденсации и является стандартным контроллером для одной группы всасывания в любой холодильной системе. Этот контроллер способен регулировать давление конденсации низкотемпературного контура и одновременно контролировать давление всасывания. Контроллер АК-PC 730 способен так же координировать запуск низкотемпературного и высокотемпературного контуров, обеспечивая плавность работы установки. В качестве регуляторов подачи хладагента в испарители низкотемпературных камер и прилавков ис-

пользуются стандартные электронные контроллеры. Работа контроллера АК-CC 550 с использованием запатентованных программных алгоритмов в сочетании с импульсным модулирующим расширительным клапаном АКВ оптимизирует эксплуатационные характеристики и работу системы. Клапан АКВ так же используется как стандартный клапан для хладагентов HFC. Общий контроль над работой системы осуществляется при помощи АК-SM 350 или АК-SC 255 или АК-SM 720. Выбор осуществляется в зависимости от требований к эксплуатационным характеристикам системы, заложенных проектом.

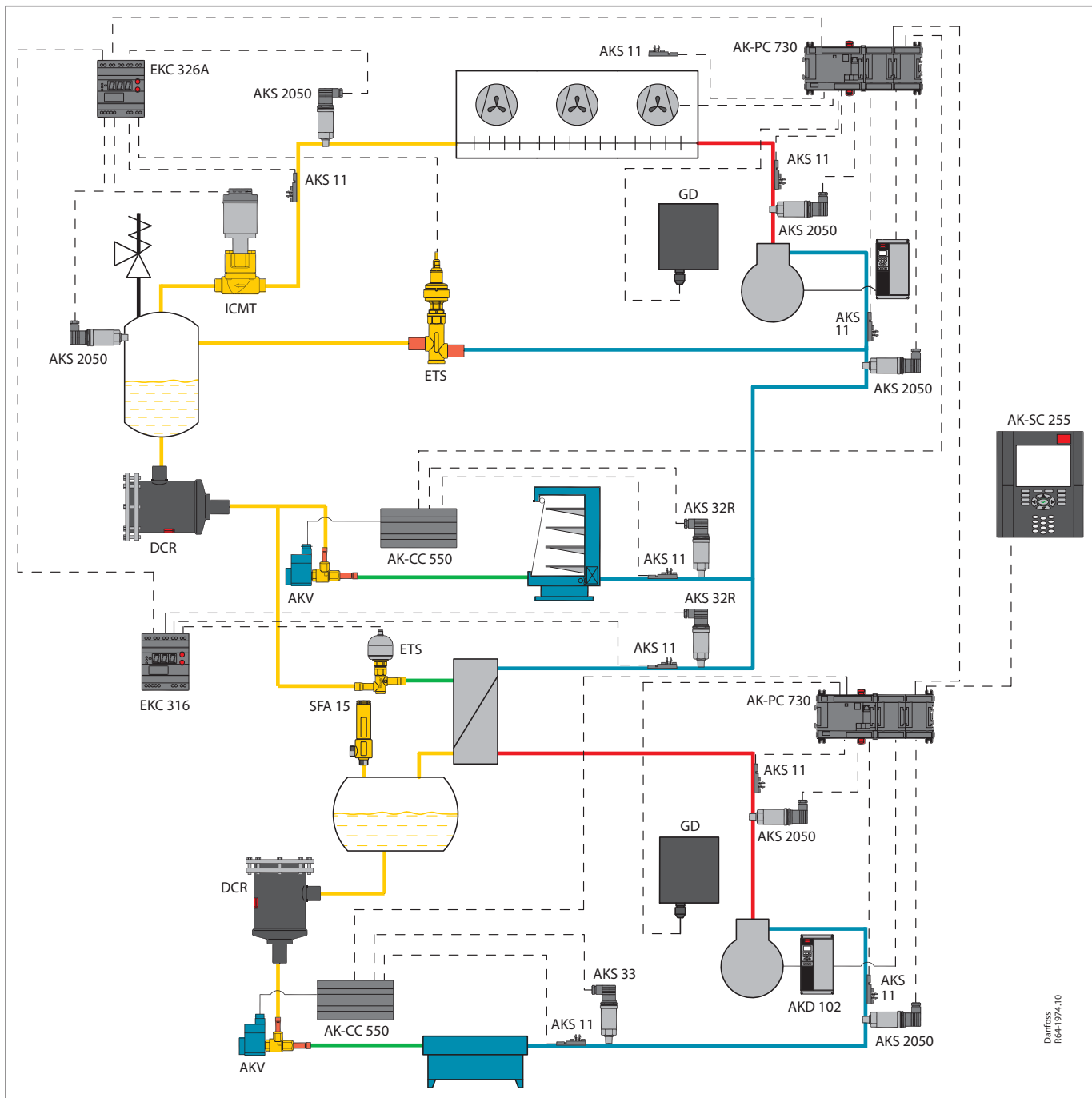


Рис.10.2: Транскритическая каскадная система.

10.3. Транскритическая бустерная система

Контроллер компрессорной централи АК-PC 730, регулирует давление всасывания и является стандартным контроллером для одной группы всасывания в любой холодильной системе. Контроллер АК-PC 730 способен так же координировать запуск низкотемпературного и высокотемпературного контуров, обеспечивая плавность работы установки.

Общий контроль над работой системы осуществляется при помощи АК-SM 350 или АК-SC 255 или АК-SM 720. Выбор осуществляется в зависимости от требований к эксплуатационным характеристикам системы, заложенным проектом.

- Парообразный хладагент ВД
- Жидкий хладагент ВД
- Парообразный хладагент НД
- Жидкий хладагент НД

Работа контроллера АК-CC 550 с использованием запатентованных программных алгоритмов в сочетании с импульсным модулирующим расширительным клапаном АКV оптимизирует эксплуатационные характеристики и работу системы.

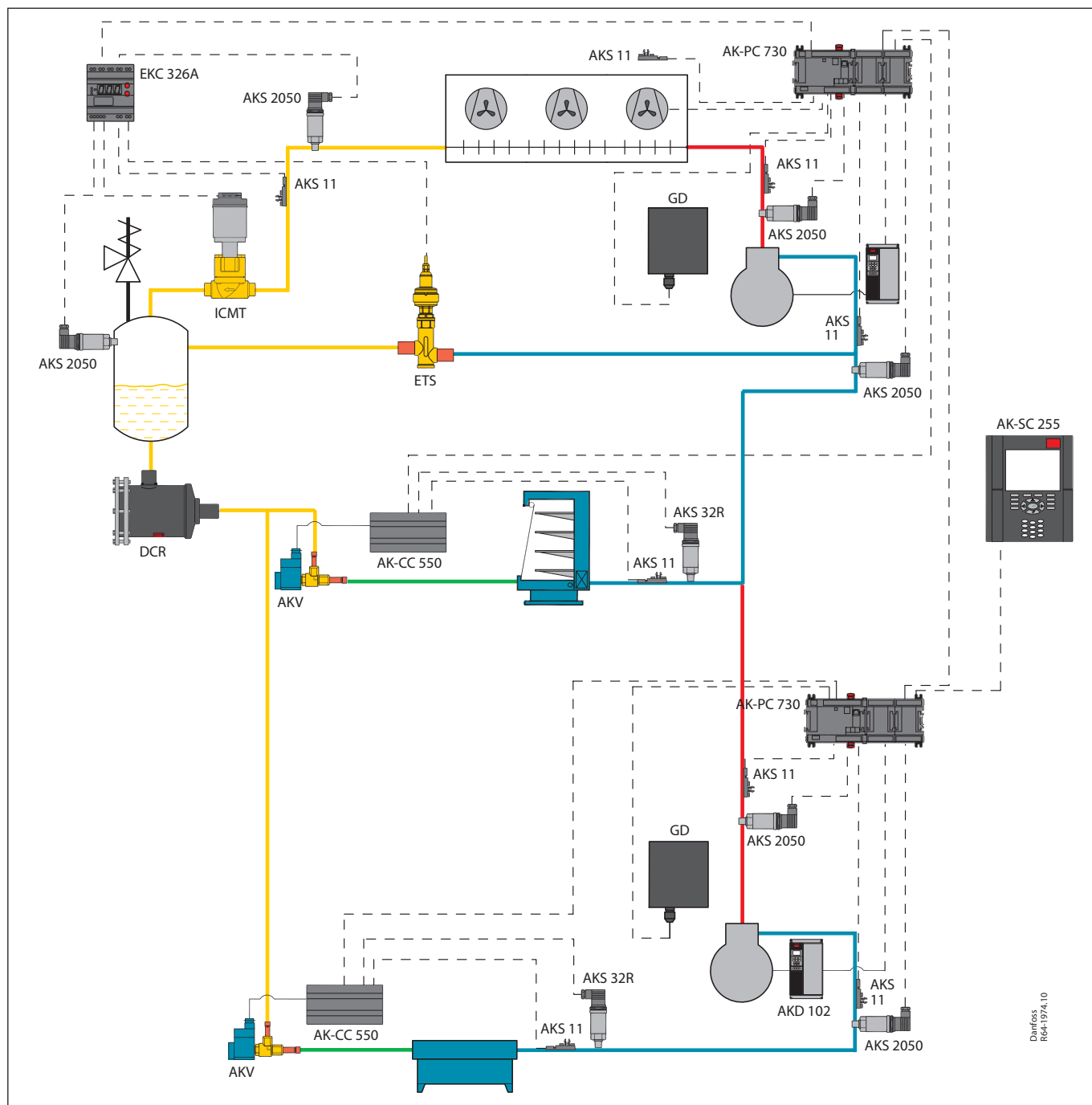


Рис. 10.3: Транскритическая бустерная система.

Danfoss  
Ref-1974.10







## **Компания «Данфосс» - Ваш надёжный партнёр в создании холодильных систем на CO<sub>2</sub>**

Компания «Данфосс» предлагает полный модельный ряд клапанов для каскадных систем на CO<sub>2</sub>

Мы предлагаем так же систему полного контроля ADAP-KOOL®  
Компания «Данфосс» имеет более 15 лет опыта в усовершенствовании транскритических и субкритических систем на CO<sub>2</sub>

Компания «Данфосс» провела большое количество испытаний производимого ею оборудования, чтобы проверить его способность надёжно работать в системах на CO<sub>2</sub>.

Ознакомьтесь подробнее с оборудованием и решениями предлагаемые компанией «Данфосс» для холодильных систем, работающих на CO<sub>2</sub>,  
**посетив наш сайт: [www.danfoss.com/CO<sub>2</sub>](http://www.danfoss.com/CO2)**