

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА КОМПРЕССОРОВ COPELAND SCROLL™

1 Введение

Параллельной называется такая работа компрессоров, когда несколько компрессоров одновременно работают в составе одной холодильной системы. Для достижения максимально возможной производительности и надёжности системы требуется специальная конструкторская проработка. Только квалифицированный специалист, ответственный за систему, может принимать решение о конфигурации, максимально отвечающей данным конкретным требованиям. Параллельная работа спиральных компрессоров имеет следующие преимущества:

- **Эффективное регулирование производительности**
Отключение одного из параллельно работающих компрессоров – это простой и эффективный способ регулирования производительности. Чтобы соответствовать потребностям системы в холоде, компрессоры будут включаться или выключаться при изменении тепловой нагрузки или температуры окружающего воздуха. Одновременное использование различных компрессоров обеспечивает большую гибкость в достижении необходимой производительности.
- **Работа в режиме ожидания**
Если один из компрессоров не может работать по какой-либо причине, его нагрузка перераспределяется на оставшиеся компрессоры. Если остановка вызвана поломкой компрессора, остальные компрессоры также могут быть повреждены, и нужно принять срочные меры по защите всей установки, в частности, если в результате аварии образуются кислота и/или грязь. Чтобы принять решение о срочности ремонта необходимо определить причину аварии. Это особенно важно, если установка имеет трубопроводы уравнивания по маслу и газу или если установка не имеет системы регулирования уровня масла с фильтрами на трубопроводе всасывания и трубопроводе возврата масла.
- **Замена компрессоров**
Если по какой-либо причине компрессор должен быть заменён, то небольшой вес спирального компрессора позволяет сделать это гораздо легче и дешевле. Это особенно актуально для малых моделей.
- **Несколько температур кипения**
Если необходимо контролировать две температуры кипения или более, каждому испарителю должен соответствовать свой индивидуальный компрессор, причем все компрессоры работают на общий конденсатор. Это даст экономию электроэнергии по сравнению с альтернативной системой, которая работает при самом низком давлении всасывания.

Спиральные компрессоры не имеют ни масляного насоса, ни реле давления масла. Подшипники со специальным покрытием Teflon® сохраняют работоспособность даже в короткие периоды нехватки масла. Однако продолжительная работа без смазки при высоких степенях сжатия может повредить подшипники. Чтобы быть уверенным в надёжной защите установки необходимо следовать положениям данного руководства.

2 Рассмотрение параллельного применения

Если компрессоры работают параллельно, то для регулирования производительности необходимо обеспечить возможность их независимого пуска/останова. Рассмотрим три основных вопроса:

- **Возврат масла**
Холодильные установки с регулируемой производительностью должны иметь правильную циркуляцию масла, особенно при частичной нагрузке. Это означает, что максимально возможное снижение

производительности ограничивается возвратом масла. Для обеспечения смазки подшипников необходимо поддерживать должный уровень масла. Избыток масла может привести к неэффективной работе и к повышенному выносу масла в систему.

- **Напряжение трубопроводов**

Если компрессоры установлены близко друг к другу, необходимо обеспечить гибкость соединительных трубопроводов. Если этого не будет сделано, толчок при пуске компрессора может привести к излишнему напряжению в местах закрепления, что, в свою очередь, может привести к повреждению трубопроводов и утечке хладагента. Следует также избегать резонанса труб.

- **Очерёдность пусков**

Необходима такая очерёдность пусков, чтобы каждый компрессор работал одинаковое время.

3 Активный контроль уровня масла

Возможен индивидуальный активный контроль уровня масла. Для этого на каждый компрессор вместо смотрового стекла устанавливается регулятор уровня масла Alco TraxOil. Регулятор соединён с ресивером масла, который, в свою очередь, получает масло из маслоотделителя. На трубопроводах возврата масла следует установить фильтры. Ресивер масла компенсирует колебания количества масла в системе. Масло, унесённое из компрессора в систему, при недостаточном возврате из системы замещается в компрессоре маслом из ресивера. На регуляторе имеется смотровое стекло, при помощи которого можно визуально контролировать уровень масла спустя 10 секунд после остановки компрессора. Поскольку спиральные компрессоры не имеют маслонасоса и реле давления масла, рекомендуемая система контроля уровня масла включает защиту. Если возникает необходимость добавить масло в систему, Emerson Climate Technologies рекомендует масла марок RL 32 ZMAF и Mobil EAL Arctic 22 CC.

3.1 Ресивер масла низкого давления

Ресивер масла должен иметь давление несколько выше, чем давление в картере компрессора. Это ограничивает количество хладагента, растворенного в масле ресивера. Падение давления при поступлении масла в компрессор невелико, и количество газа, выделяющегося в картере, также мало.

Для управления уровнем масла могут использоваться поплавковые регуляторы или другие устройства. Рекомендуется наличие электрического выходного сигнала, который может быть подключен к цепи управления и остановит компрессор, если уровень масла упадёт ниже минимального и останется таковым некоторое время (максимум 2 минуты). Это защитит компрессор от сбоя в подаче масла. Датчик уровня масла защищает только от нехватки масла в ресивере, но не от проблем с подачей масла в отдельный компрессор и не от сбоев в работе регулятора уровня. Для надёжной работы регулятора уровня Alco OM3 TraxOil необходимо поддерживать давление в ресивере масла на 3,5 бар выше давления всасывания.

При использовании регулятора уровня необходимо поддерживать уровень масла в верхней половине смотрового стекла. Если для присоединения регулятора используется адаптер, имеющий внутренний диаметр меньше, чем у смотрового стекла, то это может привести к ошибке при визуальном определении уровня масла.

При вводе в эксплуатацию таких систем важно обеспечить достаточное время для того, чтобы система достигла равновесия. Поскольку вынос масла из спиральных компрессоров невелик, то, возможно, потребуется некоторое время для стабилизации количества масла в испарителях. Пока этого не произойдёт, требуемое количество масла в системе не может быть определено.



Рис. 1: Alco OM3 TraxOil

Модель регулятора уровня	OM3 TraxOil
Функции: - Заполнение маслом - Сигнал аварии - Выключение компрессора	ДА ДА ДА
Напряжение питания	24 В АС или 230В АС
Контроль уровня	40% – 60% от высоты смотрового стекла
Время задержки	120 сек
Перезапуск Задержка включения Задержка аварийного отключения компрессора	Автоматический 10 сек 20 сек
Присоединение по маслу	Резьба 3/4" – 14 NPTF
Максимальное рабочее давление	450 psi / 31 бар
МОПД электромагнитного клапана	305 psi / 21 бар
Аварийный контакт	3А, 230 В
Катушка электромагнитного клапана	Alco ASC 24 В АС 50/60 Гц: 15ВА Alco ASC 230 В АС 50/60 Гц: 15ВА

Таблица 1: Свойства регулятора уровня масла OM3 TraxOil

3.2 Ресивер масла высокого давления

Применение отдельного ресивера масла не является необходимым, если используется ресивер, совмещённый с маслоотделителем. В этом случае масло будет находиться под давлением нагнетания, что приведёт к сильному вспениванию при входе в картер компрессора. Поэтому необходимо ограничивать количество масла, попадающего в картер компрессора при открытии электромагнитного клапана. Для таких применений хорошо подходит регулятор уровня масла Alco OM3 TraxOil (см. **Рис. 1**).

4 Пассивный контроль уровня масла

4.1 Трубопроводы уравнивания

Системы без активного контроля уровня масла, в которых картеры компрессоров просто соединены трубами, привлекают своей простотой. Они довольно часто встречаются в системах кондиционирования воздуха. Такие системы, разумеется, применимы только для компрессоров, работающих при одинаковом давлении всасывания.

Большие колебания уровня масла могут быть вызвано изменением условий работы системы или оттайкой. Это может привести к избытку или недостатку масла в компрессорах. Как правило, единственным способом проверки уровня масла является визуальный контроль через смотровое стекло. Если уровень масла находится выше смотрового стекла, то его невозможно определить точно. Аналогично, если масло не наблюдается в смотровом стекле, существует опасность работы с уровнем ниже минимально допустимого.

Трубопровод, соединяющий сервисные вентили масла, не является удачным решением, поскольку при остановке какого-либо компрессора давление в нём начинает расти и масло перетекает в работающие компрессоры. Сервисный вентиль расположен ниже уровня смотрового стекла и, следовательно, у остановившегося компрессора уровень масла будет казаться нулевым. Даже при одновременной работе всех компрессоров могут случаться небольшие перепады давления, которые будут вызывать тот же эффект.

В качестве альтернативного метода уравнивания масла используются трубопроводы, соединяющие отверстия для смотровых стекол. Ниже нами будут приведены некоторые замечания. Из-за существенных различий в конструкции и условий эксплуатации систем этот метод не может получить «**общее и безусловное**» одобрение от Emerson Climate Technologies. Для системы любого типа проверить его работоспособность должен будет пользователь.

4.2 Трубопроводы уравнивания по маслу и газу на уровне смотрового стекла

Компания Emerson Climate Technologies провела испытания, чтобы подтвердить возможность параллельной работы трёх компрессоров, соединённых трубопроводом уравнивания по маслу и газу. Конфигурация трубопроводов всасывания и уравнивания описана далее (см. разделы 4.3 и 4.4).

Этот метод может быть использован для:

- Двух или трёх спиральных компрессоров ZF, ZS, ZB;
- Компрессоры должны быть одинаковыми;
- Напряжение питания может быть любым;
- Хладагенты R404A, R507, R22;
- Рабочий диапазон будет как у одиночного компрессора с впрыском жидкости;
- Необходимо обеспечить компрессоры защитой от залива жидким хладагентом;
- Допускается любая последовательность запуска компрессоров.



Рис. 2: Параллельная работа спиральных компрессоров

Разрешённые модели компрессоров

Низкие температуры	Средние температуры	
От ZF09K* до ZF48K*	От ZB15K* до ZB220K*	От ZS21K* до ZS11M*

Таблица 2: Применимость моделей

4.3 Трубопровод всасывания

Необходимо использовать всасывающий коллектор правильного размера, обеспечивающий равномерное распределение хладагента и масла в каждый компрессор. В этом случае несимметричная конструкция (см. ниже) является допустимой и не создаёт проблем в выравнивании уровня масла между компрессорами.

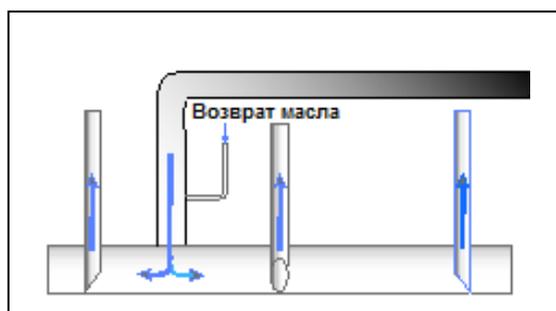


Рис. 3: Возврат масла



Рис. 4: Конструкция всасывающего коллектора

4.4 Трубопроводы уравнивания по маслу

Внешний диаметр трубопровода уравнивания по маслу должен составлять не менее 7/8" (22 мм), внутренний – не менее 19 мм. Ни один фитинг в этом трубопроводе не должен иметь внутренний диаметр меньше 19 мм. Настоятельно рекомендуется устанавливать смотровые стёкла с помощью адаптеров. Имеются комплекты, состоящие из показанного ниже переходника и переходников под пайку (см. подробности в каталоге запчастей). Трубопровод уравнивания должен находиться на одном уровне; компрессоры также должны быть выставлены по уровню. Испытания показали, что трубопровод меньшего диаметра не в состоянии обеспечить хороший баланс масла в компрессорах. При использовании маслоотделителя возврат масла из него должен осуществляться в трубопровод уравнивания. При отсутствии маслоотделителя масло возвращается во всасывающий коллектор и подхватывается компрессорами через их индивидуальные трубопроводы всасывания.

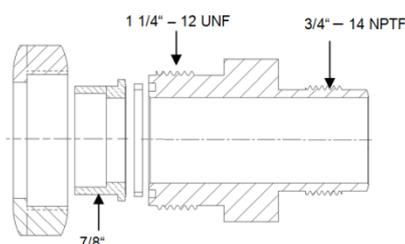


Рис. 5: Адаптер для смотрового стекла

ВНИМАНИЕ: Момент затяжки 41-54 Нм. Для герметизации используйте нить Loctite или герметик Everseal 483 White Pipe.

4.5 Уравнивание по маслу и газу в сочетании с регулятором уровня масла

Если к трубопроводу уравнивания присоединен регулятор TraхOil или другое устройство, обслуживающее одновременно два или три компрессора, необходимо, во избежание ложных отключений, проверить правильность функционирования системы. Снятое с картера компрессора смотровое стекло TraхOil может не всегда точно показывать уровень масла в картере. Допустимо использовать комбинированный ресивер масла высокого давления (в одном корпусе с маслоотделителем) или отдельный ресивер масла, если он имеет свой собственный поплавковый клапан. Поплавковый клапан маслоотделителя не должен напрямую соединяться с регулятором уровня TraхOil.

5 Возврат масла в работающие компрессоры

Постоянный уровень масла будет гарантирован в том случае, если масло будет прибывать в компрессоры с той же скоростью, с какой оно их покидает. Предпочтительной является такая конструкция всасывающего коллектора, при которой масло может попадать только в работающие компрессоры. Этого можно добиться несколькими способами. Наиболее распространённым является способ, где используется всасывающий коллектор с вертикальными трубами всасывания отдельных компрессоров, что требует значительной скорости для подъёма масла в компрессор. Несколько конструкций показаны на рисунке ниже, однако каждую из них следует испытывать. В некоторых холодильных системах этого достаточно для того, чтобы в любых условиях иметь приемлемый уровень масла, но в таких системах отсутствуют реле безопасности, чтобы выключить компрессор, если он по каким-либо причинам лишится масла.

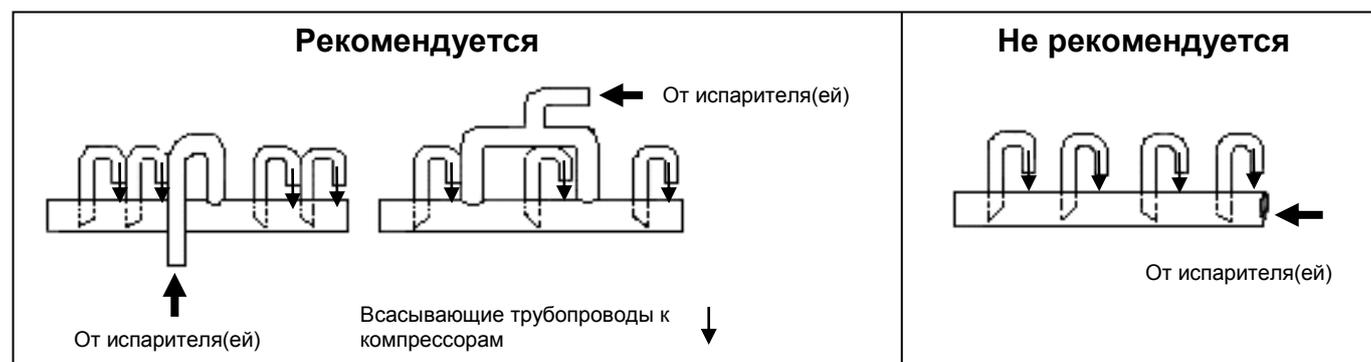


Рис. 6: Коллектор всасывания - рекомендации

6 Особенности монтажа и трубной обвязки

6.1 Толчок при пуске

Обыкновенно спиральный компрессор устанавливается на мягкие резинометаллические опоры. Они предназначены для передачи мельчайших колебаний на раму. Гибкость опор является причиной, по которой трубопроводы, подходящие к каждому компрессору, должны компенсировать движение компрессора, особенно после его запуска.

Трёхфазные двигатели, используемые в холодильных спиральных компрессорах, имеют при старте высокий крутящий момент. Из-за отсутствия пружинной подвески двигателя реакция статора передаётся непосредственно на корпус. При использовании стандартных опор реакция статора вызывает видимые глазом движения корпуса компрессора, и это не является отклонением. Однако если всасывающий и нагнетательный трубопроводы жёстко закреплены на раме или компрессор жёстко соединен трубами с соседним компрессором, то трубопроводы будут сдерживать движение, и им передастся реакция двигателя. Это может вызвать избыточное напряжение и разрушение соединений трубопроводов.

6.2 Резонанс

Пульсации газа на нагнетании в некоторых случаях может вызвать резонанс трубопровода. Для участка между компрессором и первым закреплением трубопровода желательно избегать собственных частот от 45 до 55 Гц. Зачастую появление этой проблемы невозможно предугадать, но если это случится, проблема решается изменением конфигурации трубопровода.

6.3 Рекомендации по трубной обвязке и монтажу

Трубопроводам нагнетания и всасывания необходимо придать определённую гибкость. При использовании стандартных опор надо сделать по крайней мере 2 изгиба в вертикальной плоскости и иметь вертикальный участок перед входом трубы в коллектор. Проверьте качество монтажа, слегка покачав компрессор на опорах. Если трубопроводы имеют достаточную гибкость, то использование виброизоляторов не является обязательным. Виброизоляторы в случае их использования должны быть установлены вертикально.

Участок трубопровода перед первым жёстким креплением следует также направлять вертикально. Это даст трубопроводу необходимую гибкость и уменьшит опасность резонанса. Альтернативным решением являются жёсткие опоры, представленные в **таблице 3** на следующей странице. Через жёсткие опоры на раму передаются большие нагрузки, но для холодильных систем небольшие дополнительные вибрации не являются проблемой.

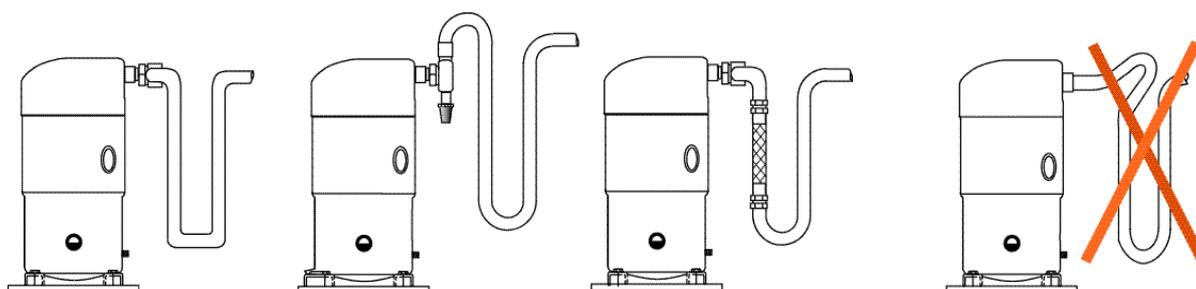


Рис. 7: Рекомендации по трубной обвязке

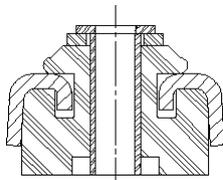
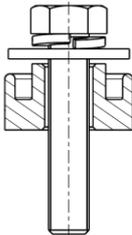
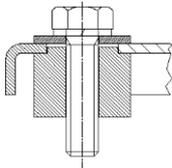
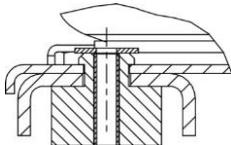
Компрессор	№ заказа	Характеристики	Чертёж
ZB15K* - ZB48K* ZF09K* - ZF18K* ZF13KVE - ZF18KVE ZS21K* - ZS45K*	8030450 (в ЕС) 527-0157-00 (в США)	Твердость по Шору: 60-70	
ZB50K* - ZB114K*	8609592 (в ЕС) 527-0206-03 (в США)	Сталь	
ZB56K* - ZB11M* ZF24K* - ZF48K* ZF24KVE - ZF48KVE ZS56K* - ZS11M*	8522911 (в ЕС) или 8516741 527-0168-00 (в США)	Сталь	
ZB220K*	8040746 (в ЕС) 527-0178-00 (в США) 027-0324-00 (Втулка)	Твердость резины по Шору: 60-70	

Таблица 3: Виброизолирующие опоры для многокомпрессорных установок

7 Особенности конструкции

Основной материал содержится в руководстве по эксплуатации «Спиральные компрессоры для холодильной техники». Ниже приведена дополнительная информация по параллельному использованию компрессоров в холодильных системах.

7.1 Всасывающий коллектор

Трубопроводы всасывания от испарителей к компрессорам впадают в общий всасывающий коллектор, в котором выравниваются давления всасывания. Трубы, идущие из всасывающего коллектора к компрессорам, должны быть проложены как можно короче и проще, а также быть симметричными друг другу. Это необходимо для лучшего выравнивания давлений между картерами компрессоров. Естественно, чем ниже скорости во всасывающем коллекторе, тем лучше выравниваются давления. Чтобы давления могли уравниваться во всасывающем коллекторе, трубы, входящие во всасывающий коллектор, не должны находиться прямо напротив труб, выходящих из него в компрессоры.

В зависимости от нагрузки на холодильную систему компрессоры могут то включаться, то выключаться. Возможны ситуации, когда в компрессоры попадает жидкий хладагент. Поэтому всасывающий коллектор должен частично выполнять функции отделителя жидкости. Следовательно, трубы из коллектора всасывания в компрессор должны быть таковы, чтобы гарантировать возврат масла за счет использования дополнительных отверстий. Через устройство возврата масла жидкий хладагент не должен попадать в неработающие компрессоры.

Поскольку многокомпрессорные установки обычно имеют разветвленную систему трубопроводов, необходимо использовать всасывающие фильтры. Они могут выполнять функции фильтра – осушителя или просто отфильтровывать грязь. Корпус такого фильтра жёстко закрепляется перед входом во всасывающим

коллектором. При необходимости в такой корпус можно установить и другой сердечник, например антикислотный.

7.2 Нагнетательный коллектор

Трубопровод нагнетания должен идти от компрессора к расположенному ниже нагнетательному коллектору. Это делается для того, чтобы избежать попадания жидкости из конденсатора в компрессор через нагнетательный порт.

7.3 Маслоотделитель

Одной из особенностей многокомпрессорной установки является большая холодопроизводительность. С ростом холодопроизводительности разветвляется и усложняется система трубопроводов, в результате чего могут возникнуть проблемы с возвратом масла. Поэтому, вне зависимости от хладагента и температуры кипения, рекомендуется устанавливать маслоотделитель. Обратите особое внимание на соблюдение правил по монтажу трубопроводов. Система регулирования уровня масла должна включать в себя маслоотделитель, а трубопровод возврата масла должен быть направлен из маслоотделителя в ресивер масла.

7.4 Снабжение компрессоров маслом

Чем сложнее система трубопроводов, тем больше её влияние на возврат масла в компрессоры. Регулирование производительности приводит к частым изменениям скорости газа внутри трубопровода всасывания, а это затрудняет возврат масла. Проблемам смазки должно быть уделено особое внимание. Уровень масла в картере компрессора необходимо контролировать с помощью регулятора TraxOil. Если уровень масла в картере компрессора ниже допустимого, TraxOil разрывает цепь управления компрессором и тем самым останавливает его.

7.5 Монтаж

Компрессоры следует устанавливать как можно ближе друг к другу, чтобы соединяющие их трубы были как можно меньшей длины. Изменяя очерёдность включения компрессоров для выравнивания их наработки, можно поддерживать температуру масла в компрессорах на определённом уровне, что, в свою очередь, позволит сократить количество растворённого в масле хладагента. Невозможность попадания жидкого хладагента в компрессоры во время стоянки обеспечивается размещением коллектора всасывания ниже всасывающих портов компрессоров. В случае если требуется виброизоляция самой установки, необходимо использовать специальные виброопоры. Трубопроводы на стороне нагнетания и всасывания должны быть как можно более гибкими.

7.6 Многокомпрессорная установка с впрыском пара

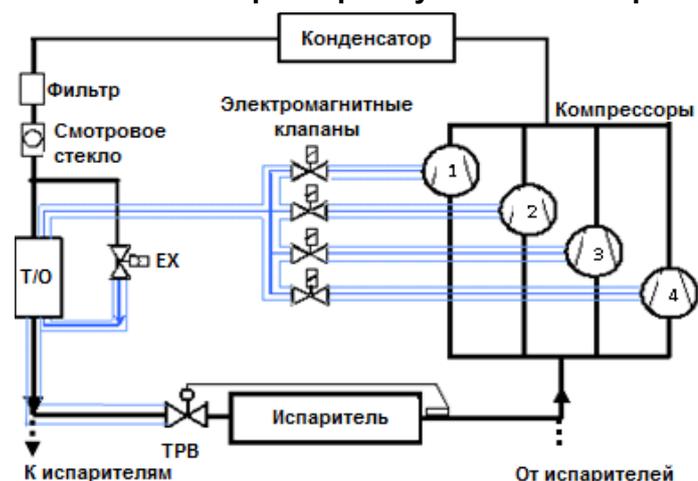


Рис. 8: Многокомпрессорная установка с общим экономайзером

Многокомпрессорная установка имеет общий экономайзер (T/O) и электрический регулирующий клапан (EX), выполняющий функции TRV. Электромагнитные клапаны устанавливаются на трубопроводы впрыска пара для каждого компрессора и закрываются при остановке компрессора. Это позволяет избежать попадания жидкого хладагента в компрессор во время его стоянки. Детальная информация содержится в документе C7.19.01 «Спиральные компрессоры Copeland Scroll™ с впрыском пара для холодильной техники».