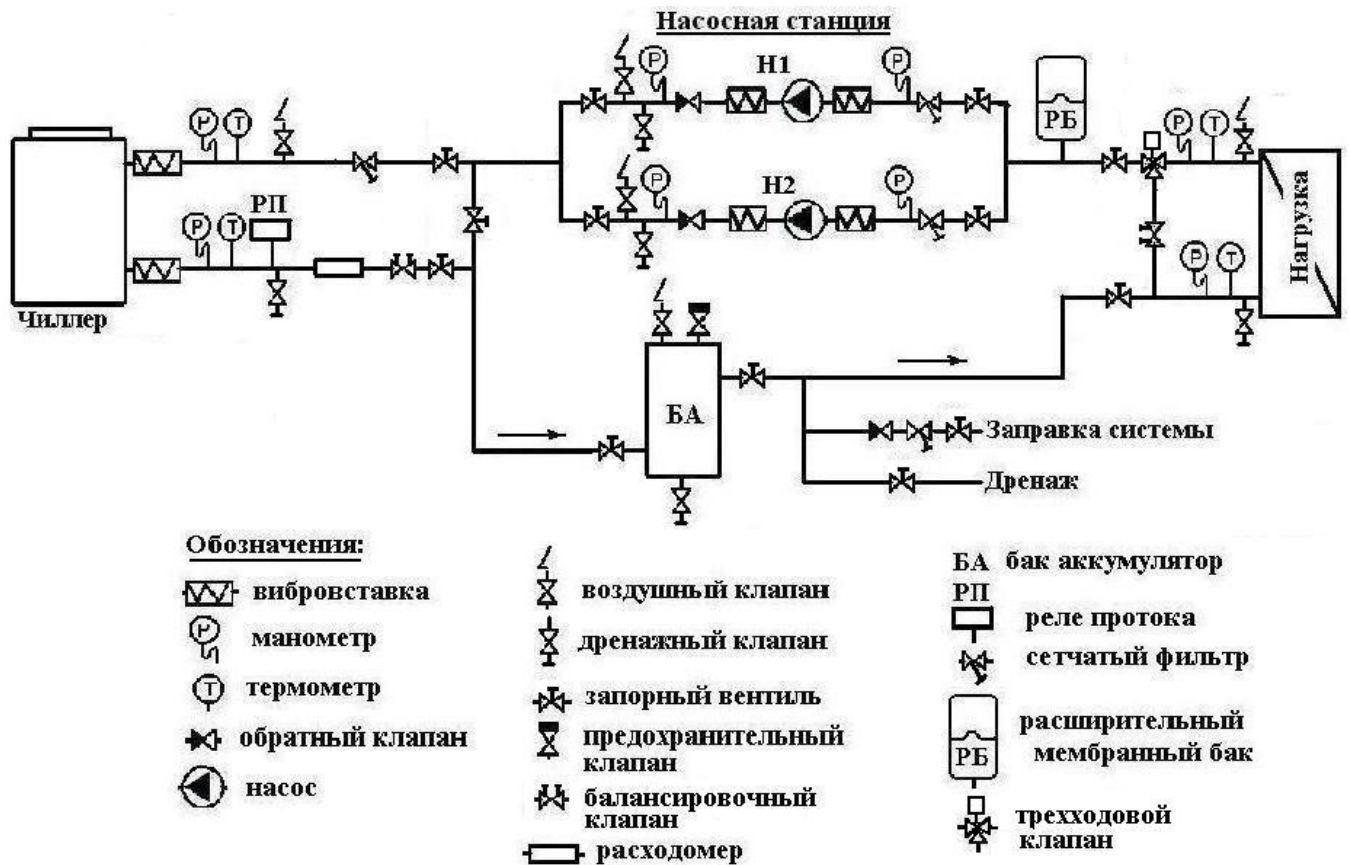


## Принципиальные схемы станций холодоснабжения с чиллерами различного конструктивного исполнения.

### I. Принципиальная схема, основные агрегаты и элементы гидравлического циркуляционного контура чиллера.

На Рис.1. представлен пример типовой схемы обвязки испарителя чиллера любого типа в замкнутой гидравлической системе при самостоятельной комплектации оборудования циркуляционного холодильного контура. Циркуляционный контур – одноконтурный: циркуляция теплоносителя в системе осуществляется с помощью одной насосной группы и при номинальных параметрах системы расход через испаритель соответствует расходу через нагрузку холодильной станции. В качестве теплоносителя в примере использован стандартный теплоноситель – подготовленная вода, хотя в отдельных случаях возможно применение теплоносителей с низкими температурами замерзания (растворы этиленгликолей и пропиленгликолей различной концентрации).



**Рис.1. Принципиальная схема циркуляционного контура испарителя чиллера.**

Представленная принципиальная схема носит общий характер и наполнена необходимыми агрегатами и элементами для правильной инсталляции и безаварийной работы основного оборудования холодильной станции – чиллера. В частных, конкретных случаях схема может быть упрощена за счет исключения отдельных регулирующих и запорных элементов, но общая идеология построения и последовательности расположения элементов и агрегатов должна быть по возможности сохранена.

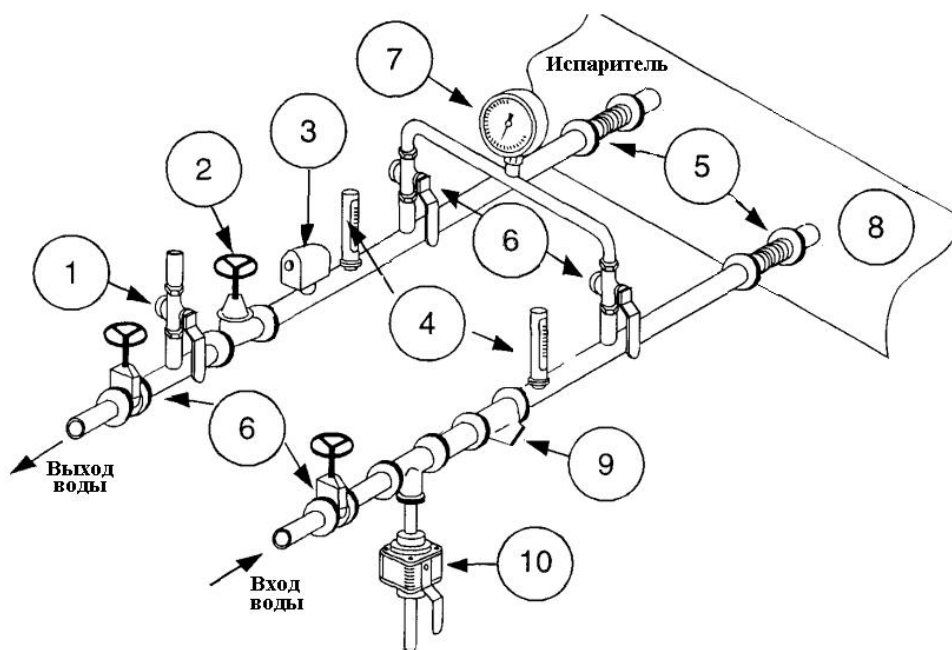
Наиболее ответственным и дорогостоящим агрегатом холодильной станции является чиллер. Чиллер связан с циркуляционным контуром станции холодоснабжения посредством испарителя. Нарушения в работе циркуляционного контура и неправильная эксплуатация системы, как правило, приводит к выходу из строя испарителя и последующего выхода из строя

компрессора чиллера. По этой причине при работе холодильной станции циркуляционный контур должен обеспечить:

- Постоянный и стабильный поток, подготовленного по требованиям производителя оборудования, теплоносителя через испаритель чиллера, соответствующий его номинальной производительности на расчетном режиме;
- Постоянную очистку теплоносителя от продуктов коррозии и шлама в трубопроводных магистралях при циркуляции теплоносителя в системе;
- Постоянную дегазацию теплоносителя от воздуха, растворенного в жидкости.

#### А. Трубопроводная обвязка окружения испарителя.

Рассмотрим обвязку трубными магистралями испарителя чиллера, фрагмент которой более подробно представлен на Рис.2.



**Обозначения:**

- |                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| 1 – вентиль для спуска воздуха      | 6 – запорные вентили   |
| 2 – балансировочный клапан          | 7 – манометр           |
| 3 – реле протока (РП)               | 8 – испаритель чиллера |
| 4 – термометры на входе/выходе воды | 9 – сетчатый фильтр    |
| 5 – компенсирующие вставки          | 10 – дренажный вентиль |

**Рис.2. Стандартная обвязка трубными магистралями испарителя чиллера.**

**А.1. Компенсирующие вставки** служат для подсоединения трубных магистралей циркуляционного контура с испарителем чиллера. Как правило, компрессоры чиллеров установлены на свои независимые виброизоляторы. В этом случае вибрация при работе компрессора в малой степени передается на трубную систему циркуляционного контура. Тем не менее, рекомендуется использовать при подсоединении трубных магистралей с теплообменными аппаратами чиллера (испаритель и конденсатор) компенсирующие вставки – резиновые виброизоляторы, чтобы исключить передачу вибраций в трубопроводную систему.

Компенсирующие вставки позволяют:

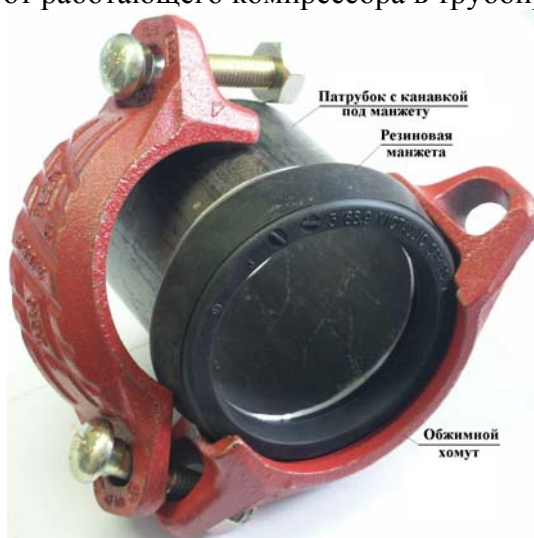
- Компенсировать возможное осевое несоответствие патрубка испарителя чиллера и смонтированной трубной магистрали;
- Исключить передачу вибраций от работающего холодильного оборудования в трубопроводную систему;

- Обеспечить расстыковку и отсоединение испарителя при проведении проверочных, сервисных и работ по замене агрегатов. По этой причине соединение испарителя и трубной магистрали должно быть обязательно разъемным.

**Примечание.** Не допускается проведение, каких либо сварочных работ на присоединительных патрубках испарителя чиллера, так как тепло, выделяющееся при сварке, может вызвать деформацию и образование микротрещин в корпусе испарителя.

Присоединительные патрубки испарителей чиллеров небольшой холодопроизводительности (примерно до 100 кВт) имеют окончание с трубной резьбой для подсоединения с трубными магистралями. В этом случае допускается подсоединение к трубным магистралям посредством резьбовой втулки или фланцевого соединения.

Подключение патрубков испарителей чиллеров большой холодопроизводительности (выше 100 кВт) с трубными магистралями осуществляется посредством так называемых, **Flexible Joint** или **Victaulic** соединений (см. Рис.3), которые позволяют компенсировать незначительное осевое несоответствие трубной магистрали и патрубков испарителя и исключить передачу вибраций от работающего компрессора в трубопроводную систему.



**Рис.3. Соединение Victaulic трубной магистрали.**

При затягивании болтов хомуты обжимают резиновую манжету специального профиля в канавках патрубка испарителя и ответного патрубка, приваренного к трубе магистрали, обеспечивая герметичность циркуляционного контура. Из условий прочности теплообменных аппаратов и элементов циркуляционного контура максимальное рабочее давление в системе охлаждения, как правило, не должно превышать величину 10 Бар.

**А.2. Показывающие манометры и термометры** на входе/выходе теплоносителя из испарителя чиллера рекомендуется устанавливать для удобства обслуживания и эксплуатации холодильной станции.

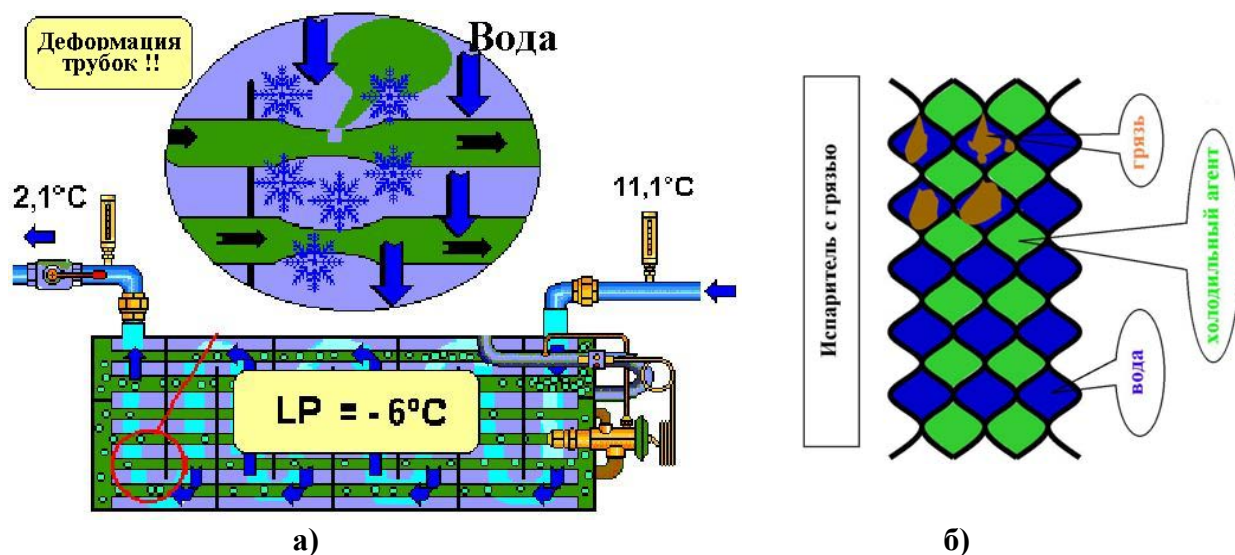
С помощью показывающих термометров может быть осуществлен быстрый и простой мониторинг температуры теплоносителя на входе и выходе из испарителя малоквалифицированным персоналом, без использования цифрового дисплея контроллера чиллера, к которому должен иметь доступ, только специально обученный персонал.

Обязательный мониторинг давлений теплоносителя на входе и выходе из испарителя чиллера с помощью показывающих манометров необходим для постоянного контроля гидравлического сопротивления, а, соответственно, состояния теплообменной поверхности (степени загрязненности) и контроля расхода теплоносителя через испаритель при проведении пуско-наладочных работ и эксплуатации чиллера.

Манометры и запорные вентили необходимо устанавливать на прямолинейных участках трубопроводов. Нельзя их устанавливать вблизи отводов и гибов трубы. Для уменьшения погрешности в определении перепада давлений на испарителе целесообразно использование

одной манометрической головки с двумя запорными вентилями на линиях входа и выхода теплоносителя в испаритель, как показано на Рис.2. С помощью этих вентиляей можно изолировать манометр от системы, когда он не используется.

**А.3. Сетчатый фильтр «грязевик»** испарителя должен быть установлен на входе теплоносителя в аппарат, в непосредственной близости от испарителя. Несмотря на то, что система холодоснабжения, в соответствии с требованиями производителя оборудования, должна быть заполнена **подготовленным теплоносителем**, сетчатый фильтр предотвращает попадание грязи из трубной системы в испаритель. Отказ от выполнения этого требования может повлечь за собой попадание грязи, продуктов коррозии и шлама трубной системы в аппарат, что приводит к ухудшению процессов теплообмена в испарителе с одной стороны. С другой – увеличение гидравлического сопротивления испарителя вследствие его забивки загрязнениями приводит к уменьшению расхода через испаритель, что, в конечном счете, может привести к аварийной остановке компрессора по защите от замораживания испарителя (**Freeze up**) или по низкому давлению (**LP**) в холодильном контуре. Многократное срабатывание этих защит, особенно последней, без анализа и выяснения возможной причины аварии на практике может привести и, как правило, приводит к выходу из строя компрессора чиллера.



**Рис.3. Локальное замораживание каналов испарителя:**

- а) кожухотрубного испарителя при малых расходах воды;
- б) паянного пластинчатого испарителя при «забивке» каналов грязью и шламом.

Особо необходимо подчеркнуть обязательность установки сетчатого фильтра «грязевика» тонкой очистки с малым размером ячейки (**размер ячейки порядка 50мк**) перед паянным пластинчатым теплообменником-испарителем. Указанные аппараты обладают высокой эффективностью теплообмена при небольших массогабаритных (в сравнении с традиционными кожухотрубными теплообменниками) характеристиках, т.е. имеют тонкие каналы и малый внутренний объем со стороны теплообменных сред. При работе в составе циркуляционного контура паянные пластинчатые теплообменники очень «критичны» к малейшим загрязнениям и наличию воздуха в теплоносителе – возможно локальное «замораживание» отдельных каналов (см. Рис.3), внутренняя разгерметизация теплообменника при неоднократных аварийных остановках и попадание теплоносителя (воды или растворов низкотемпературных жидкостей) в холодильный агент компрессора с последующим выходом из строя последнего.

**А.4. Запорные вентили на входе/выходе испарителя** (см. на Рис.2 поз.6) позволяют изолировать испаритель при проведении первой прокрутки «грязной» системы

циркуляционного контура после монтажа, проведения пуско-наладочных работ насосной группы, при проведении технического обслуживания испарителя без полного дренажа всего объема теплоносителя из контура холодильной станции. Отсутствие запорных вентилей может повлечь попадание грязи в испаритель при первых пусках насосной группы.

**Примечание.** При обвязке чиллера с несколькими независимыми испарителями установка запорной арматуры на каждом испарителе является также целесообразной, поскольку в этом случае аварийная остановка одного из холодильных контуров чиллера не приводит к полной остановке системы при проведении ремонтных работ.

**А.5. Байпасный запорный вентиль испарителя** (см. Рис.1). Для исключения возможности загрязнения теплообменной поверхности теплообменного аппарата при первых прокрутках теплоносителя в циркуляционном контуре после проведения монтажных работ трубных магистралей рекомендуется устанавливать постоянный или временный байпас вокруг теплообменного аппарата (испарителя/конденсатора чиллера, секции охлаждения центрального кондиционера и т.п.). При организации временного байпаса широко применяют фланцевые соединения.

**А.6. Дренаж и выпуск воздуха из испарителя** (см. Рис.2 поз.1 и 10). При инсталляции чиллера необходимо предусматривать возможность дренажа теплоносителя из испарителя. Чтобы обеспечить полный слив теплоносителя и исключить образование вакуума при дренаже, обеспечить полную заливку испарителя жидкостью при последующем заполнении системы, в верхней точке трубной системы вблизи испарителя необходимо предусмотреть воздушный клапан. Воздушный клапан может быть с ручным приводом или автоматический.

При работе чиллера на воде вокруг места установки агрегата при проектировании системы необходимо предусмотреть канавку для отвода воды при дренировании.

В случае использования в качестве теплоносителя растворов этиленгликоля или пропиленгликоля в проекте необходимо предусмотреть дополнительную трубную магистраль для слива жидкости в специальный отдельный резервуар, объем которого соответствует объему сливаемой жидкости. Более подробно этот вопрос рассмотрен ниже.

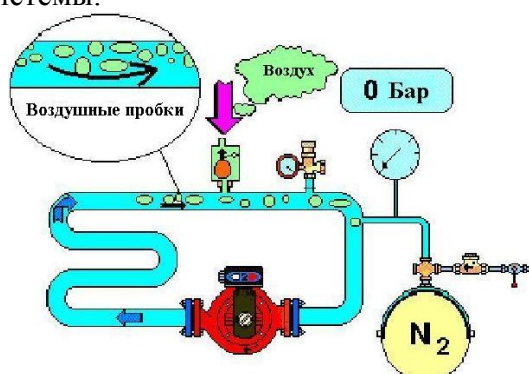
Особое внимание при заправке и эксплуатации циркуляционного контура с теплоносителем необходимо уделять проблеме удаления воздуха из системы.

**В холодильной станции недопустимо присутствие воздуха в циркуляционном контуре теплоносителя.** По этой причине в системах кондиционирования воздуха применяются в основном замкнутые системы циркуляции, работающие под избыточным давлением. Присутствие воздуха в теплоносителе приводит:

- К «завоздушиванию» теплообменных аппаратов и нарушению их теплообменных характеристик;
- Ненормальной и нестабильной работе оборудования холодильной станции;
- Увеличенному шуму при работе циркуляционного контура;
- Пульсациям давления в циркуляционном контуре и возможности возникновения кавитации в насосной группе, что приводит к снижению ресурса и преждевременному выходу из строя насосного оборудования;
- Аварийным остановкам холодильного оборудования при срабатывании защиты от замораживания испарителя (**Freeze up**), а чаще – по низкому давлению (**LP**) в холодильном контуре;
- Закупорке воздушными пробками каналов теплообменника-испарителя, тогда как отсутствие протока теплоносителя по каналу приводит к его замораживанию и последующему разрушению при деформации стенок.

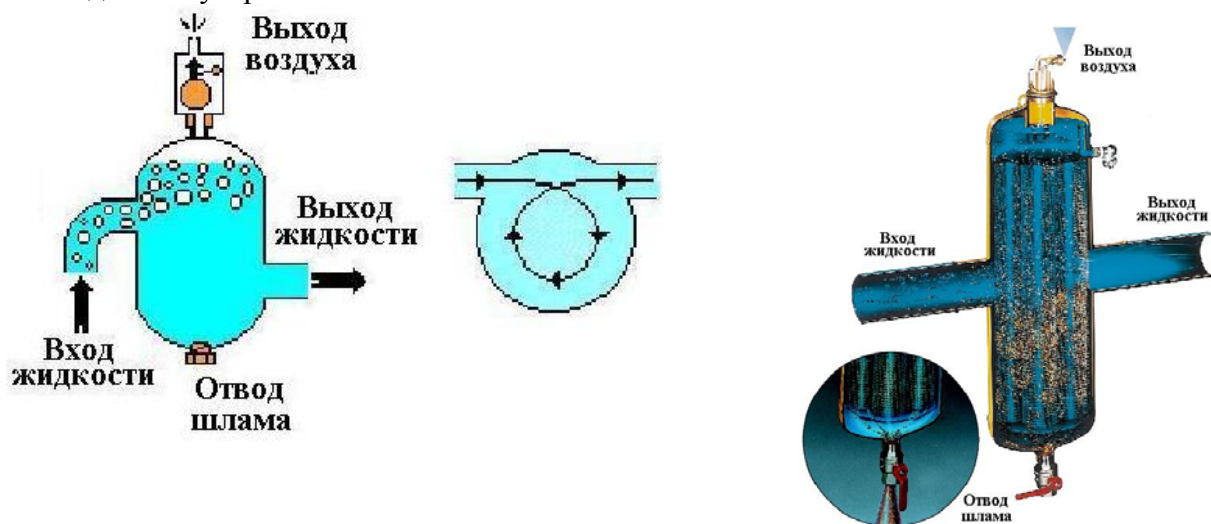
Особое внимание следует уделять выбору типа клапана для отвода воздуха из системы (ручной или автоматический). На Рис.5 проиллюстрирован случай подсоса воздуха в замкнутый циркуляционный контур через воздушный автоматический клапан при расхолаживании

системы. В контуре установлен расширительный мембранный бак, но была большая утечка жидкости при пуско-наладке системы.



**Рис.5. «Подсос» воздуха в систему через воздушный автоматический клапан.**

Для решения проблемы постоянной обработки циркулирующего теплоносителя в холодильной системе находят применения специальные устройства, позволяющие обеспечить высокую степень очистки от механических частиц и «дегазации» жидкости. На Рис.6 показаны два типа подобных устройств.



**а) Центробежный воздухоотводчик**

**б) Сепаратор Spirovent'Air&Dirt.**

**Рис.6. Специальные устройства для постоянной обработки теплоносителя при его циркуляции в системе.**

Первый (Рис.6а) представляет собой, по существу, воздухоотводчик циклонного типа, в котором достигается высокая степень сепарации жидкости от воздушных пузырьков и растворенного в жидкости воздуха за счет изменения скоростей и действия центробежных сил при тангенциальной закрутке потока на входе в аппарат.

Сепаратор **Spirovent'Air&Dirt** производства фирмы **“Spirotech by Helmond”** (Голландия) (Рис.6б) представляет собой уникальный аппарат двойного действия, который автоматически удаляет из циркулирующей жидкости весь воздух (в том числе и растворенные газы) и микроскопические частицы шлама (продукты коррозии трубопроводных магистралей) из воды или другого теплоносителя. Оптимизированная конструкция аппарата и запатентованная внутренняя проволочная насадка позволяют осуществлять сепарацию с высокой эффективностью. Аппарат заменяет собой фильтр тонкой очистки (задерживает микрочастицы размерами меньше чем 32 микрона), при скоростях потока в трубных магистралях от 1 до 3 м/с. Сепаратор имеет малые гидравлические сопротивления, в сравнении с традиционными сетчатыми фильтрами. Место установки аппарата в системе холодоснабжения – на входе теплоносителя в испаритель холодильной машины. При этом в наивысшей точке трубной магистрали в районе испарителя необходимо устанавливать ручной воздухоотводчик, как

показано на Рис.2. поз.1, для проведения работ по дренажу/заполнению теплоносителем контура испарителя при проведении регламентных работ.

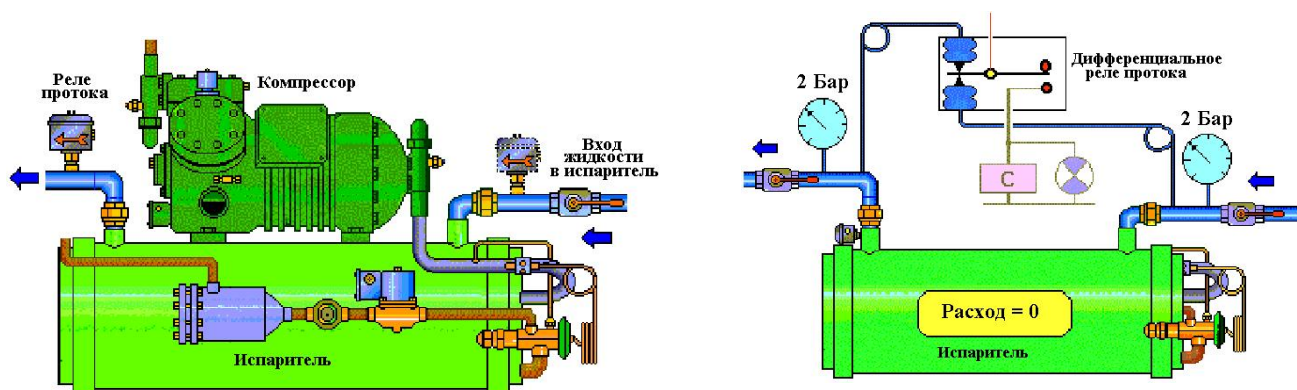
**А.7. Реле протока испарителя (РПИ)** наиболее важный элемент гидравлического контура, обеспечивающий надежную и безаварийную работу чиллера в течение всего периода его эксплуатации.

**Установка реле протока в системе холодоснабжения обязательна**, поскольку его основная функция – защита чиллера от нештатной ситуации: чрезвычайно малом либо при полном отсутствии протока жидкости через испаритель. Это возможно в системе лишь только в одном случае – при неработающем компрессоре холодильной машины.

**Реле протока – датчик (микровыключатель, реле перепада давлений и т.п.), сигнализирующий контроллеру чиллера о том, что в системе циркуляции теплоносителя есть физический проток жидкости через испаритель чиллера, причем величина расхода через испаритель соответствует номинальному расчетному значению на выбранные рабочие параметры чиллера в системе холодоснабжения.**

На практике находят применение реле протока различных типов: механические и дифференциальные реле, датчики перепада давлений и др. Назначение устройств одно – сигнализировать контроллеру чиллера о нормальном протоке жидкости через испаритель.

Этим обусловлено место установки реле протока – на трубопроводных магистралях циркуляционного контура вблизи испарителя, как показано на Рис.7.



**Рис.7. Установка реле протока в трубной магистрали.**

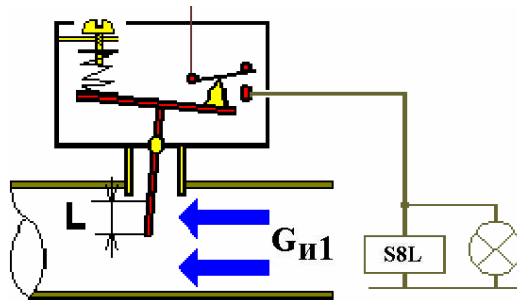
Наиболее целесообразно устанавливать реле протока на трубопроводной магистрали на выходе из испарителя. Выбирается прямолинейный участок трубы длиной не менее 10 калибров и по центру этого участка устанавливается реле протока. Не допускается установка реле протока вблизи гибов трубы, запорных клапанов или вентилях, регулирующей арматуры.

Корпус реле протока монтируется в вертикальном положении, причем направление стрелки на корпусе реле протока должно совпадать с направлением потока теплоносителя. При установке реле протока необходимо обеспечить защиту контактной группы реле от попадания в корпус грязи и влаги.

Допускается установка механического реле протока на прямолинейных вертикальных участках труб, но только при условии направления движения теплоносителя снизу – вверх.

Наиболее простым и дешевым реле протока являются механические реле, принцип работы которых заключается в замыкании контактов микровыключателя при повороте чувствительной пластины («пера») находящейся в потоке движущейся жидкости. Длина пластины выбирается в зависимости от диаметра трубопровода магистрали, в который вставляется реле протока.

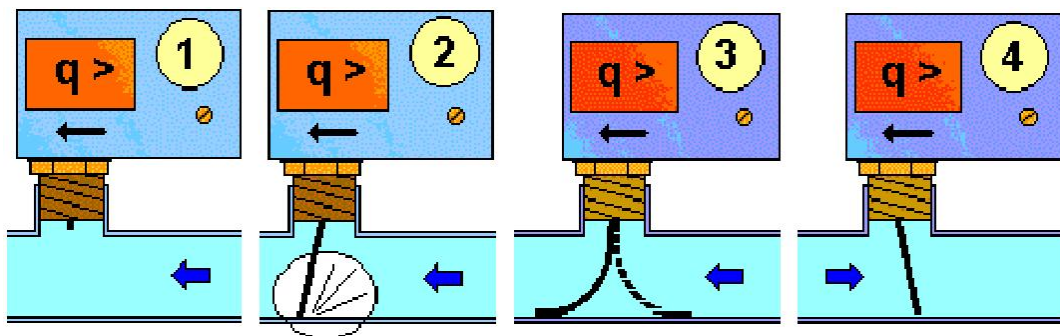
Выбор длины пластины является ответственным моментом при установке реле протока, поскольку предопределяет его чувствительность. Так, при коротких длинах пластины контакты реле протока, установленного в трубопроводе большого диаметра, не замкнутся даже при нормальных величинах расхода, как показано на Рис.8.



**Рис.8. Выбор длины пластины реле протока.**

При больших диаметрах трубопроводов рекомендуется подкладывать под чувствительную пластину несколько пластин меньшей длины (своеобразная «рессора»), в противном случае возможен быстрый выход из строя реле вследствие поломки пластины в месте заделки.

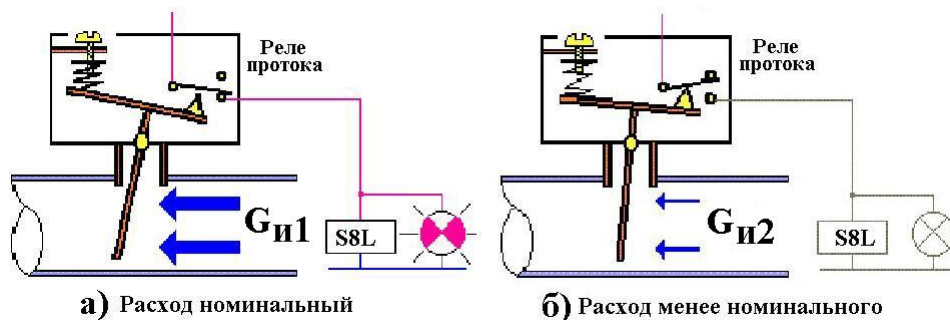
На Рис.9 показаны типичные практические ошибки при инсталляции механических реле протока:



**Рис.9. Типичные ошибки при установке реле протока.**

В первом случае при установке реле протока «забыли» установить пластину; во втором случае длинная пластина «цепляется» за трубу при ее повороте. В третьем случае длина пластины не соответствует диаметру трубопровода, поэтому пластина при монтаже реле протока установилась в каком-то произвольном положении; в четвертом случае стрелка на корпусе реле протока не соответствует направлению потока в магистрали.

Замыкание контактов реле протока при достижении требуемой расчетной величины расхода жидкости в магистрали регулируется винтом в корпусе реле при настройке гидравлического контура во время проведения пусконаладочных работ (см. Рис.10). Если по какой то причине расход в магистрали, считай в испарителе, станет меньше ( $G_{и2} < G_{и1}$ ), то контакты реле протока размыкаются и на контроллер чиллера поступает команда на остановку компрессора.



**Рис. 10. Регулировка механического реле протока.**

В чиллерах, как правило, предусмотрены две последовательно скоммутированные ступени защиты по отсутствию или несоответствию расчетному значению расхода жидкости через испаритель. На Рис.11, в качестве примера, представлен фрагмент электрической схемы чиллера DAIKIN с одновинтовым компрессором.





**Рис. 11. Защитные устройства и их подключение к контроллеру чиллера.**

Первая ступень представляет собой «сухие» контакты насоса (S9L), которые замыкаются при подаче силового электропитания на насосную группу циркуляционного контура. Сигнал о включении насосной группы поступает на контроллер, но этого недостаточно для подтверждения нормального расхода жидкости через испаритель чиллера. Для этого служит реле протока, замыкание контактов (S8L) которого указывает на то, что расход через испаритель достиг требуемой величины. Только после этого начинается обратный отсчет таймера запуска компрессора чиллера и после его обнуления происходит собственно запуск компрессора.

Если, по какой то причине, расход жидкости через испаритель уменьшился или вообще прекратился, происходит размыкание цепочки защит и компрессор чиллера аварийно останавливается. Современные контроллеры чиллеров фиксируют аварию, таким образом, можно достаточно просто выявить причину аварийной остановки (реле протока).

При необходимости цепочка защит (Рис.11) по потоку жидкости через теплообменные аппараты чиллера может быть расширена. Так, при монтаже чиллеров с водяным охлаждением конденсатора в эту цепочку последовательно включают «сухие» контакты насосной группы и реле протока по стороне конденсатора.

При инсталляции оборудования холодильной станции необходимо учитывать также особенности электроподключения чиллера и насосной группы. Силовое электропитание рекомендуется выполнять отдельно: не допускается подключение насосной группы от чиллера. При пуске холодильной станции первым всегда производится включение насосной группы, затем чиллера.

Номинальные параметры чиллера (холодопроизводительность, потребляемая мощность и расход через испаритель) приводятся в технических данных агрегата при температуре окружающей среды +35°C; теплоносителе циркуляционного контура – вода; температуре воды на выходе из испарителя + 7°C; разность температур воды на входе/выходе из испарителя 5К.

Из условий оптимальной работы теплообменного аппарата – испарителя (теплообменных и гидравлических характеристик агрегата) допускается рабочая разность температур в узком диапазоне от 3 до 8 К. В соответствии с вышеизложенным различают:

- **Минимальный** расход теплоносителя в циркуляционной системе, соответствующий максимальной разности температур на испарителе – 8К. Эта величина является нижним порогом по расходу в системе циркуляции испарителя, ниже которого изготовителем не рекомендуется работа аппарата – при столь малых расходах возможно замораживание каналов испарителя.
- **Номинальный** расход теплоносителя в циркуляционной системе, соответствующий стандартной разности температур на испарителе – 5К, теплоноситель – вода. Эта величина характеризует устойчивую работу чиллера.
- **Максимальный** расход теплоносителя в циркуляционной системе, соответствующий минимальной разности температур на испарителе – 3К. Эта величина является верхним пределом по расходу в системе циркуляции испарителя. Дальнейшее

увеличение расхода нецелесообразно вследствие ухудшения характеристик испарителя из-за возрастания его гидравлического сопротивления.

- **Расчетный** расход теплоносителя через испаритель чиллера, соответствующий выбранной при проектировании системы холодоснабжения разности температур на испарителе, выбранных параметрах чиллера при подборе оборудования, выбранном типе теплоносителя циркуляционного контура. Для стандартных условиях расчетная величина расхода соответствует номинальной.

Расчетный расход теплоносителя через испаритель чиллера в запроектированной системе холодоснабжения определяется по формуле:

$$G_{\text{ир}} = Q_{\text{чр}} / [C_{\text{рж}} \times (t_{\text{вх и}} - t_{\text{вых и}})], \text{ (кг/с)}$$

где:  $Q_{\text{чр}}$  – выбранная при подборе оборудования расчетная холодопроизводительность чиллера, кВт;

$C_{\text{рж}}$  – удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/кг×К;

$t_{\text{вх и}}$  – температура теплоносителя на входе в испаритель, °С;

$t_{\text{вых и}}$  – температура теплоносителя на выходе из испарителя, °С.

Или для теплоносителя – воды:

$$G_{\text{ир}} = 862 \times Q_{\text{чр}} / [3600 \times (t_{\text{вх и}} - t_{\text{вых и}})], \text{ (л/с)}$$

В случае пересчета на воду при стандартной разности температур на испарителе, ( $t_{\text{вх и}} - t_{\text{вых и}} = 5, \text{°С}$ ), получаем:

$$G_{\text{ир}} [\text{л/мин}] \approx 2,87 \times Q_{\text{чр}} [\text{кВт}].$$

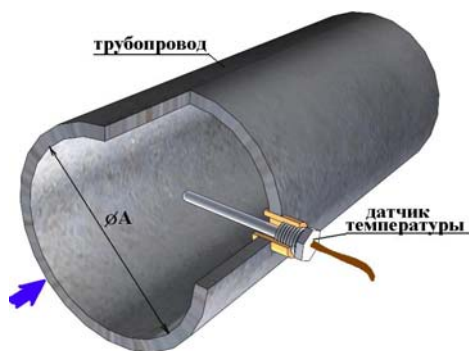
**А.8. Гидравлическая балансировка циркуляционного контура испарителя и настройка реле протока.** Эти работы проводятся в процессе пуско-наладки системы. Для целей регулирования расхода в системе (см. Рис.1) предусмотрен балансировочный клапан (Рис.2 поз.2). С помощью балансировочного клапана производится регулировка расхода теплоносителя до требуемой величины.

Целесообразно, по крайней мере, на время проведения пуско-наладочных работ, установить в циркуляционном контуре – расходомер любого типа, для измерения величины расхода жидкости через испаритель. В этом случае вместо балансировочного клапана может быть установлено более простое устройство регулирования.

Для измерения расходов хорошо себя зарекомендовали накладные ультразвуковые измерители расхода серии **Portaflow** фирмы **Micronics Ltd.**, внесенные в реестр средств измерений Российской Федерации. Приборы позволяют определить расход любого теплоносителя с достаточной для практики точностью в трубной магистрали любого диаметра, выполненной из любых материалов.

После балансировки гидравлического контура и доведения расхода через испаритель до расчетных величин производится настройка реле протока.

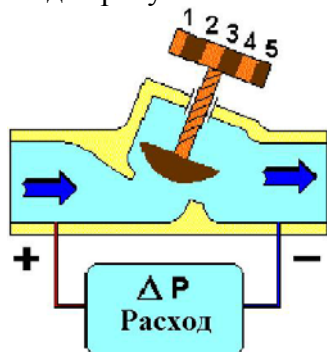
**А.9. Мониторинг температуры смешанной воды** требуется в холодильной станции с несколькими чиллерами. Для этих целей на коллекторе общей воды после испарителей устанавливается калиброванный стандартный датчик температуры (термометр сопротивления). Датчик устанавливается на трубопроводе в положении, соответствующем «трем-четырем часам», чтобы уменьшить погрешность определения температуры (см. Рис.12). Для предотвращения искажений в показаниях датчика вследствие электрических наводок, следует использовать экранированный кабель для подключения датчика к контроллеру чиллера.



**Рис.12. Установка датчика температуры на трубопроводе.**

Для холодильных станций с несколькими чиллерами, работающими на общий циркуляционный контур должны быть установлены и настроены индивидуальные реле протока на выходе теплоносителя из каждого испарителя. Это требование по возможности необходимо выполнять и при инсталляции чиллеров большой холодопроизводительности, состоящих из нескольких независимых холодильных контуров с отдельными испарителями.

**А.10. Гидравлическая балансировка циркуляционного контура испарителя и настройка реле протока.** Эти работы проводятся в процессе пуско-наладки системы. Для целей регулирования расхода в системе (см. Рис.1) предусмотрен балансировочный клапан (Рис.2 поз.2). С помощью балансировочного клапана (Рис.13) производится регулировка расхода теплоносителя до требуемой величины.

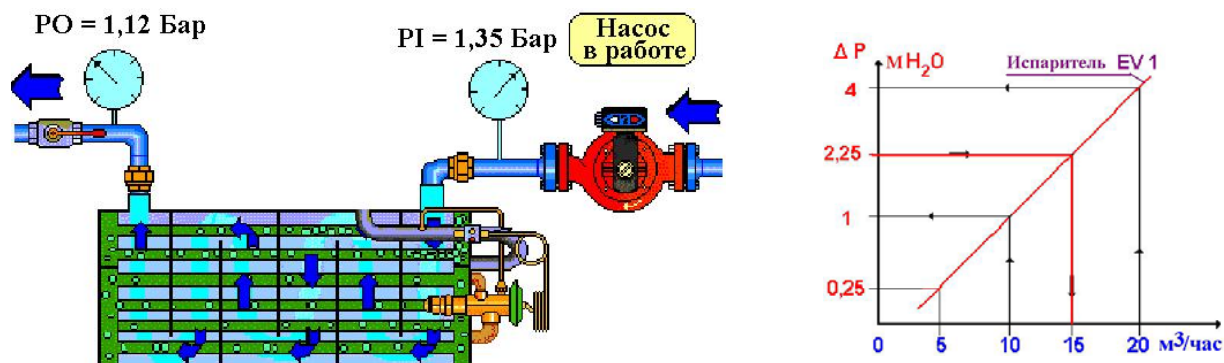


**Рис.13. Регулирование расхода в системе с помощью балансировочного клапана.**

Балансировочный клапан имеет свою гидравлическую характеристику: зависимость расхода при различных перепадах давления на клапане, который устанавливается поворотом рукоятки. Расход перемещаемой через клапан среды определяется с помощью измерительного прибора, соединенного шлангами со штуцерами клапана при пуско-наладке. Метод позволяет с высокой точностью, быстро и легко производить измерение и настройку клапана на требуемый расход теплоносителя.

Цифровая шкала клапана показывает величину настройки. При вращении рукоятки по часовой стрелке пропускная способность клапана уменьшается вплоть до полного прекращения протока теплоносителя через клапан (клапан может выполнять функции запорной арматуры). Вращение рукоятки против часовой стрелки увеличивает пропускную способность клапана. Индекс “0” на шкале настройки соответствует закрытому положению золотника клапана, а индекс “4, 8 или 16” – полностью открытому положению.

После гидравлической балансировки циркуляционного контура по показаниям манометров на входе/выходе испарителя целесообразно проверить соответствие гидравлических характеристик теплообменного аппарата, которые, известны из технических данных оборудования (см. Рис.13).



**Рис.13. Оценка расходных и гидравлических параметров испарителя.**

Периодический контроль параметров испарителя в процессе эксплуатации холодильной станции позволяет своевременно принять меры по безаварийной работе оборудования на требуемом расчетном режиме.

## **В. Обвязка и окружение насосной группы.**

Побудителем движения теплоносителя в циркуляционном контуре является насосная станция. С помощью насосов создается необходимый перепад давлений, компенсирующий гидравлические сопротивления в системе, и обеспечивается проток жидкости с требуемым расходом. Работа насоса характеризуется следующими рабочими характеристиками: подача, мощность и КПД. Подбор насоса осуществляется наложением характеристики гидравлической сети на универсальную характеристику насоса. Пересечение характеристики сети и характеристики насоса дает рабочую точку – точку совместной работы насоса и гидравлической сети.

С целью повышения надежности холодильной станции рекомендуется выполнять насосную группу (см. Рис.1) из двух насосов: рабочий и другой – резервный, который включается в работу в случае остановки рабочего насоса. Т.е. и в случае отказа рабочего насоса обеспечивается 100%–ное резервирование системы по потоку жидкости. Система автоматики насосной группы должна обеспечивать:

- Включение резервного насоса при отказе и остановке рабочего насоса;
- Выравнивание времен наработки насосов с целью равномерности выработки ресурса оборудования.

В настоящее время многие фирмы – производители насосного оборудования выпускают сдвоенными насосы (параллельное соединение), когда два насоса размещены в общем корпусе и отделены друг от друга перекидным клапаном. Применительно к циркуляционным контурам такое решение позволяет получить хорошее соотношение «цена–качество» по оборудованию гидравлического контура.

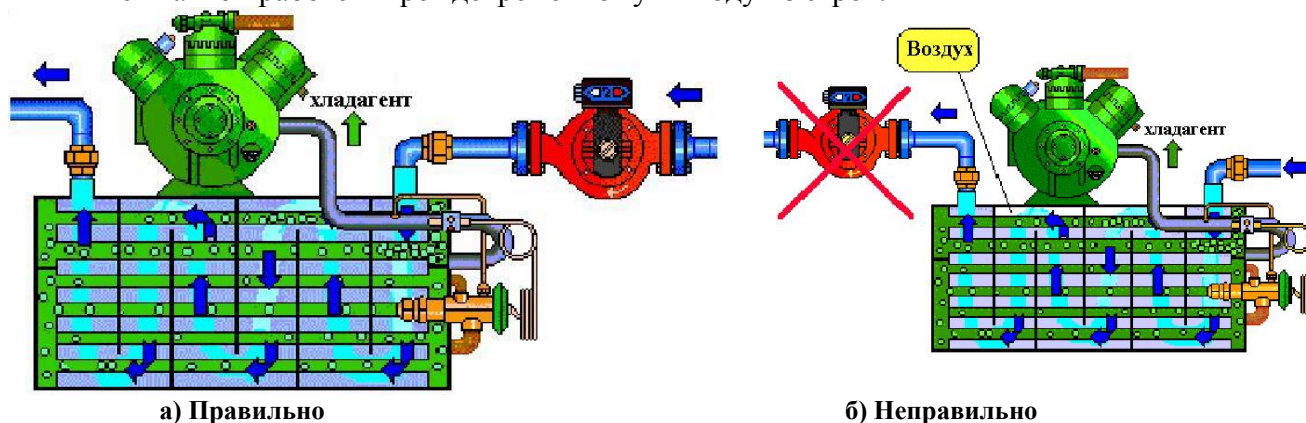
Однако, с точки зрения эксплуатации системы, безопасного обслуживания и ремонта насосной группы при постоянной работе холодильной системы более предпочтительным является вариант использования двух одинаковых насосов типа «ин–лайн», установленных и обвязанных трубопроводными магистралями как показано на Рис.1.

**В1. Положение насосной станции относительно испарителя чиллера** определяет надежную и безаварийную работу оборудования холодильной станции. При выборе места расположения насосной станции необходимо соблюдать несколько правил:

- Насос необходимо устанавливать как можно ближе к испарителю;
- Насос должен «давить» своим высоким давлением на испаритель, обеспечивая тем самым эффективный унос воздушных пузырьков, если есть воздух в системе, из каналов теплообменника, не позволяя им скапливаться в верхней части аппарата. На Рис.14 показано **правильное** расположение насоса относительно испарителя. Действительно, на расчетном режиме испаритель имеет достаточно большое

гидравлическое сопротивление. Если испаритель установлен на всасывании в насос, то вследствие падения давления жидкости на входе в испаритель, возможно, ее вскипание. Образование и концентрация в отдельных полостях воздушных микропузырьков, отрицательно влияет на процессы теплообмена в испарителе. При образовании больших воздушных полостей возможна локальная «закупорка» отдельного канала испарителя, что однозначно приводит к «замораживанию» сначала отдельного канала, вследствие малого протока в нем жидкости, а затем и всего теплообменного аппарата.

Кроме того, чрезмерное снижение давления на всасывании в насос может привести к появлению явлений кавитации в самой насосной группе. В любом случае, рассмотренная в примере на Рис.14б, установка оборудования может привести к его нештатной работе и преждевременному выходу из строя.



а) Правильно  
 б) Неправильно  
**Рис.14. Возможные варианты расположения насоса относительно испарителя чиллера.**

**В Инструкции по монтажу чиллеров DAIKIN прямо указано, что в системе должен быть установлен циркуляционный насос, подающий теплоноситель непосредственно в испаритель.**

- Насос должен обеспечивать требуемый расход через испаритель, только в этом случае производитель оборудования гарантирует равномерное распределение теплоносителя по всем каналам теплообменного аппарата.
- Не допускается на трубопроводной магистрали насос–испаритель установка, какой либо регулирующей арматуры.
- При монтаже оборудования необходимо четко выполнять правильность подсоединения магистральных трубопроводов к входному и выходному патрубкам испарителя.

**В.2. Арматура и необходимые элементы обвязки насосной станции** представлены на Рис.1:

- Насос подсоединяется к трубной магистрали через **виброизоляторы**, которые позволяют исключить передачу вибраций от работающего насоса в трубопроводную систему. Как правило, насосы устанавливаются на свои фундаментные основания;
- За насосом в линии нагнетания устанавливается **обратный клапан**, позволяющий исключить перетекание теплоносителя через неработающий насос;
- В трубной магистрали каждого насоса целесообразно устанавливать **запорные клапаны** для отключения насоса от циркуляционного контура в случае проведения регламентных или ремонтных работ; **дренажный и воздушный клапаны**, необходимые для опорожнения/заправки участка магистрали с насосом.

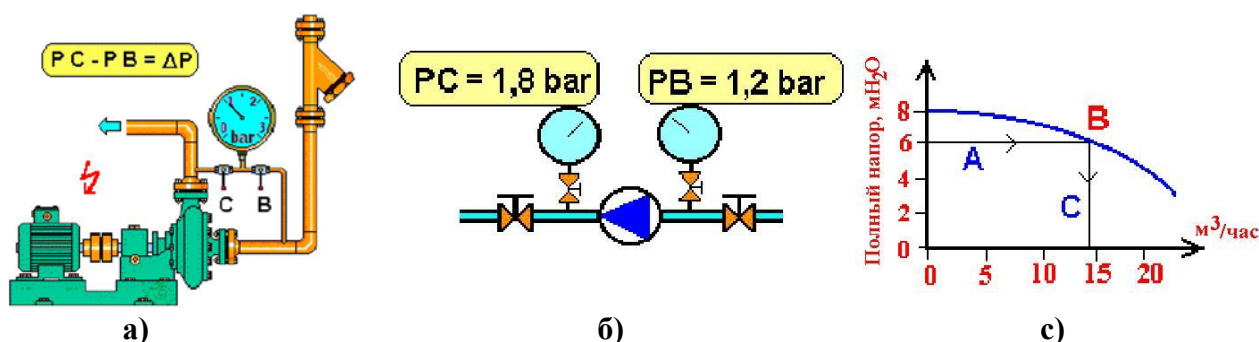
- В линии всасывания насосной станции обязательна установка **сетчатого фильтра**. Фильтр может быть установлен как в общей магистрали перед насосной станцией, так и индивидуально перед каждым насосом.

В Инструкции по монтажу чиллеров DAIKIN рекомендовано для защиты насоса и теплообменника–испарителя от воздействия посторонних частиц на входе насоса устанавливать сетчатый фильтр с размерами отверстия сетки в пределах от 0,5 до 1,5 мм.

Из практики эксплуатации насосов известно, что установка перед насосом сетчатого фильтра тонкой очистки может привести к аварии насоса. Действительно, «забивка» отдельных участков сетчатого фильтра механическими частицами приводит к разрушению сетки, вследствие пульсаций давления на всасывании. В конечном счете, унос фрагментов сетки в проточную часть вызывает выход из строя крыльчатки циркуляционного насоса.

По этой причине на принципиальной схеме, на Рис.1 представлен вариант, по существу, двухступенчатой фильтрации циркулирующего теплоносителя в системе:

1. грубый сетчатый фильтр с ячейкой 1,0÷1,5 мм устанавливается перед насосной группой;
  2. фильтр тонкой очистки непосредственно перед испарителем чиллера.
- Для удобства обслуживания и эксплуатации насосной станции обязательна установка **показывающих манометров** на всасывании и нагнетании насоса. Здесь, как и при обвязке испарителя, целесообразен вариант использования одной манометрической головки с двумя запорными вентилями на линиях входа и выхода теплоносителя из насоса, как показано на Рис.15а. С помощью этих вентиляей можно подключить манометр к любой точке измерений.



**Рис.15. Установка манометров на входе/выходе насоса.**

Манометры позволяют при запуске насосной станции сразу провести диагностику:

- как и работает ли насос?;
- в правильном ли направлении вращается его рабочее колесо?

В закрытой системе холодильной станции полный напор на насосе характеризует полные гидравлические потери в системе. Таким образом, визуально определив с помощью манометров перепад давлений на насосе и имея характеристику насоса можно **приблизительно** оценить расход жидкости в контуре, как показано на Рис.15б и 15с. **Необходимо особо отметить, что данная оценка носит поверхностный характер, что вызвано большой погрешностью визуальных измерений перепада давления.**

### **С. Расширительный бак.**

Теплоноситель циркулирует в гидравлической сети, которая представляет собой замкнутый объем конечных размеров, при изменении температуры теплоносителя объем его изменяется: при повышении температуры – увеличивается, при понижении температуры –

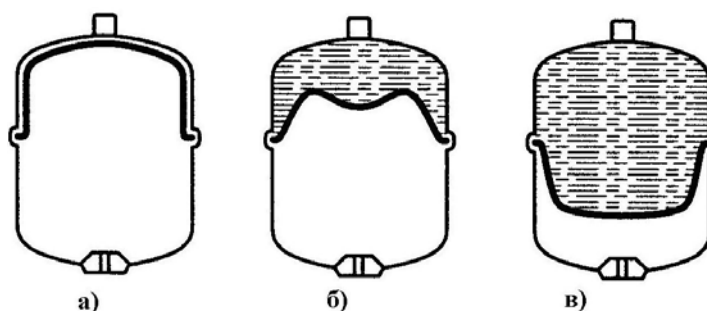
уменьшается. Так как увеличение объема ограничено замкнутым пространством, то при повышении температуры происходит увеличение внутреннего гидростатического давления, что может привести к разрушению элементов гидравлической сети. Особенно «критичными» являются места соединений трубопроводов. Для компенсации увеличения объема в системе должен быть предусмотрен расширительный бак. Расширительные баки бывают открытыми, сообщающимися с атмосферой, закрытыми без мембраны с регулируемым избыточным давлением, закрытыми с мембраной.

Расширительный бак в замкнутой гидравлической системе выполняет следующие функции:

- Воспринимает излишки воды (увеличение объема), образующиеся при ее нагревании;
- Возмещает убыль воды в системе (уменьшение объема) при ее охлаждении;
- Поддерживает постоянство давления в «нулевой» точке гидравлической системы (точке подключения расширительного бака), в том числе гидростатическое давление при отключении насосов, чтобы не допустить «ухода» воды их верхних точек системы;
- Поддерживает избыточное давление в гидравлической системе в определенном диапазоне давлений от минимального до максимального значения;
- Сигнализирует об уровне воды в системе и управляет работой подпиточных насосов;
- Через открытый расширительный бак излишки воды удаляются в канализацию;
- Открытый расширительный бак может выполнять функцию воздухоотделителя и воздухоотводчика.

На практике наибольшее применение нашли закрытые расширительные баки с воздушной или газовой «подушкой». Баки герметичны, что способствует уменьшению коррозии в трубопроводной магистрали и элементах системы при ее эксплуатации; обеспечивают в широком диапазоне переменное давление. Применение закрытых расширительных баков уменьшает стоимость монтажа, так как не требуется установка баков в верхних точках системы.

Закрытый расширительный бак с мембраной представляет собой стальной цилиндрический сосуд, разделенный на две части резиновой мембраной, в одной части которой под определенным давлением находится газ (обычно азот), другая часть соединяется с гидравлической системой и заполняется водой, см. Рис. 16.



**Рис.16. Схема мембранного расширительного бака.**

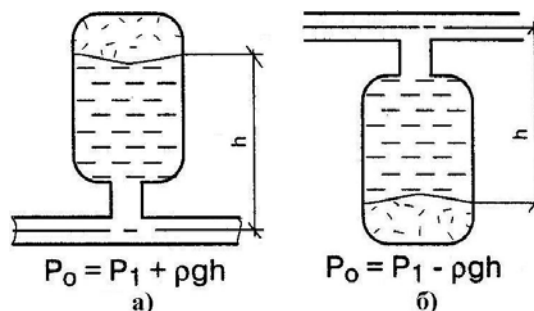
В нерабочем состоянии мембрана находится в положении – а), при заполнении гидравлической системы теплоносителем мембрана находится в промежуточном положении – б), при нагревании жидкости увеличивается ее объем и мембрана прогибается до положения – в). Если объем расширительного бака выбран меньше, чем необходимо, то давление в низших точках системы может превысить максимально допустимое. При понижении температуры теплоносителя давление в высших точках системы может оказаться ниже максимального необходимого.

Объем закрытого расширительного бака зависит от:

- Объемы теплоносителя в гидравлической системе;
- Расчетной температуры и свойств теплоносителя в системе;
- Диапазона изменения давления в системе (от минимального до максимального);

- Давления циркуляционного насоса;
- Места расположения расширительного бака.

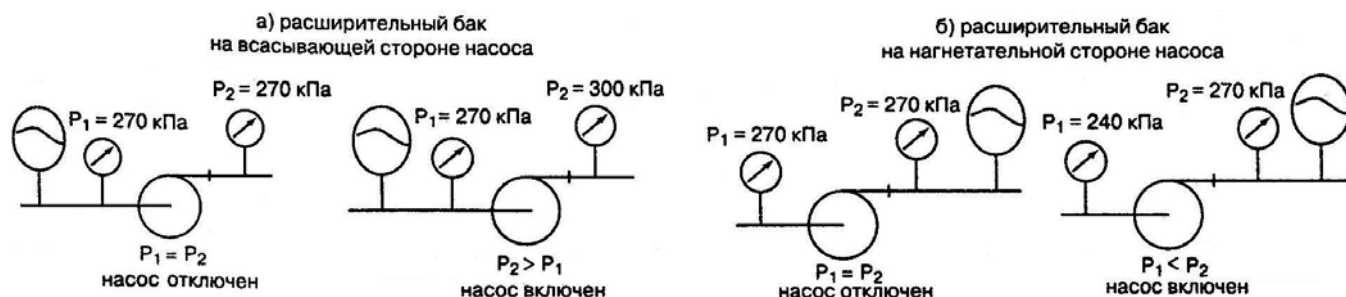
**С.1. Место расположения расширительного бака в системе** выбирается в зависимости от требуемого давления с учетом того, что в точке установки расширительного бака поддерживается постоянство давления, независимо от того работает насос или он отключен. При соединении расширительного бака с трубной магистралью давление в точке «0» определяется согласно Рис.17.



**Рис.17. Давление в точке присоединения расширительного бака к магистрали.**

Для закрытого расширительного бака с мембраной или без – Рис.17а, для закрытого бака с мембраной – Рис.17б, где:  $P_a$  – атмосферное давление;  $P_1$  – давление предварительной настройки бака;  $h$  – высота уровня жидкости относительно точки «0»;  $\rho$  – плотность жидкости;  $P_0$  – давление в месте подсоединения бака к магистрали.

На Рис.18 показано, какое давление будет поддерживаться в гидравлической системе до и после насоса: а) – при установке расширительного бака на всасывающей стороне насоса и б) – на нагнетательной стороне насоса при работающем или отключенном насосе.



**Рис.18. Давление на всасывающей и нагнетательной стороне насоса в зависимости от места установки расширительного бака.**

Когда насос отключен, давление до насоса  $P_1$  и после насоса  $P_2$  равно гидростатическому давлению в точке подключения расширительного бака (точки «0»). Когда насос работает и расширительный бак установлен на всасывающей стороне насоса, давление  $P_1$  равно давлению в точке «0», давление  $P_2$  больше давления в точке «0». При установке расширительного бака на нагнетательной стороне, давление на всасывающей стороне насоса  $P_1$  меньше давления в точке «0». В этом случае требуется расширительный бак больших размеров.

Как правило, в гидравлических системах холодильных станций мембранный расширительный бак рекомендуется устанавливать на всасывании в насосную группу. В качестве агрегатов хорошо себя зарекомендовали мембранные расширительные баки «refix» фирмы «Reflex», Германия.



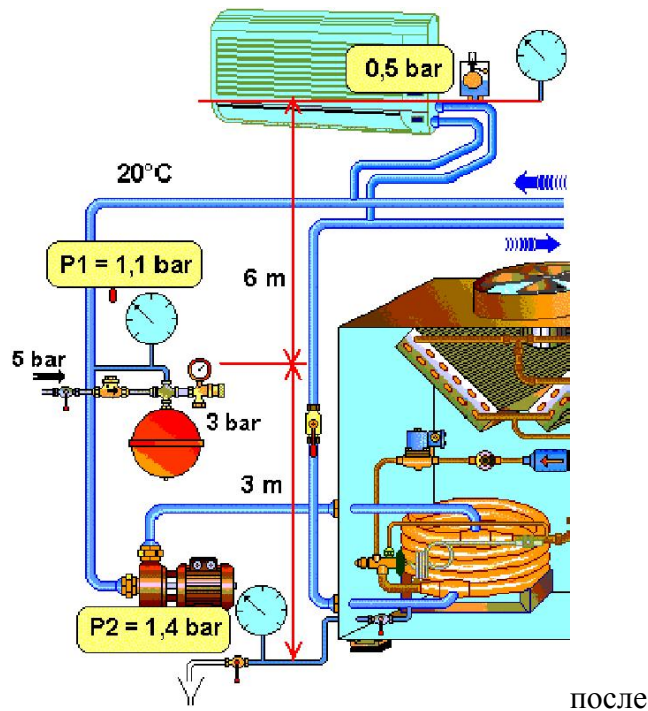


Рис.17.

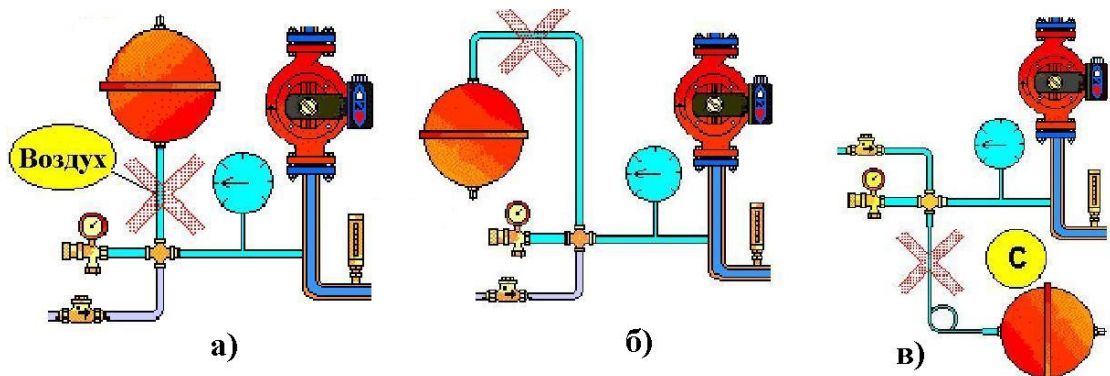


Рис. Типичные ошибки при монтаже расширительных мембранных баков.

Полезный объем закрытого расширительного бака определяют по формуле:

$$V_{рб} = \Delta V / [P_{пр} \times (1/P_{мин} - 1/P_{макс})]$$

Где:

$\Delta V$  – приращение объема жидкости в системе при нагревании,  $m^3$ , определяется как

$$\Delta V = V_c \times (\rho_1 / \rho_2 - 1)$$

где  $\rho_1, \rho_2$  – плотность жидкости при минимальной и максимальной температуре в системе,  $кг/м^3$

приращение объема жидкости в системе при нагревании иногда выражают через коэффициент объемного расширения теплоносителя:

$$\Delta V = \beta \times \Delta t \times V_c$$

где  $\Delta t$  – изменение температуры от минимального до максимального значения в системе,  $^{\circ}C$

$$\Delta t = t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}}$$

Среднее значение коэффициента объемного расширения воды 0,0006 1/°С. Для гликолиевых растворов коэффициенты объемного расширения определяют по графику в зависимости от концентрации водного раствора.

При работе циркуляционной системы на воде в режиме только охлаждения минимальная температура принимается равной +4°С, максимальная температура – равной температуре окружающего воздуха +35-40°С; при охлаждении и нагревании минимальная температура – +4°С, максимальная – равной расчетной температуре теплоносителя в подающем трубопроводе в режиме отопления. Если применяются незамерзающие растворы в контуре циркуляции через испаритель чиллера при установке агрегата снаружи здания, то минимальная температура принимается равной расчетной температуре наружного воздуха.

**Объемный расход чиллера:  $G_{\text{ч}} = Q_{\text{хч}} / (C_{\text{рч}} \times \rho_{\text{жч}} \times \Delta t_{\text{ч}})$ , [м³/с];**  
**для воды величина расхода:  $G_{\text{ч}} = Q_{\text{хч}} / (4186 \times \Delta t_{\text{ч}})$ , [м³/с];**  
**Миним. величина расхода соответствует максим. перепаду температур и наоборот.**  
**Расширительный бак** требуется для замкнутых систем.  
**Объем расширительного бака зависит от общего объема системы холодоснабжения:**

$$\Delta V = W (V_2 - V_1), [\text{м}^3];$$

где:  $\Delta V$  – объем расширительного бака, [м³];  
 $W$  – общая масса теплоносителя в системе, [кг];  
 $V_1$  – коэфф. объемного расширения теплоносителя при низких рабочих темп., [м³/кг];  
 $V_2$  – коэфф. объемного расширения теплоносителя при возможно высоких температурах, [м³/кг];

Темп-ра, °С	Кэфф. объемного расширения, м³/кг
0	1,0002×10 <sup>-3</sup>
10	1,0004×10 <sup>-3</sup>
20	1,0018×10 <sup>-3</sup>
30	1,0044×10 <sup>-3</sup>
40	1,0079×10 <sup>-3</sup>
50	1,0121×10 <sup>-3</sup>
60	1,0171×10 <sup>-3</sup>
70	1,0228×10 <sup>-3</sup>
80	1,0290×10 <sup>-3</sup>

Темп-ра, °С	Кэфф. объемного расширения, м³/кг
0	1,0002×10 <sup>-3</sup>
10	1,0004×10 <sup>-3</sup>
20	1,0018×10 <sup>-3</sup>
30	1,0044×10 <sup>-3</sup>
40	1,0079×10 <sup>-3</sup>
50	1,0121×10 <sup>-3</sup>
60	1,0171×10 <sup>-3</sup>
70	1,0228×10 <sup>-3</sup>
80	1,0290×10 <sup>-3</sup>

Согласно директиве Европейского Союза 97/23/EG мембранные расширительные баки (МРБ) "reflex" являются устройствами, работающими под давлением. Мембрана разделяет расширительный бак на воздушную и водяную камеры, в воздушной камере установлено предварительное давление. Любые изменения конструкции, будь то в результате сварных работ или механических изменений формы емкости, недопустимы. Все испытательные, ремонтные работы должны производиться только специалистами авторизованных служб, работы по монтажу и техническому обслуживанию должны производиться специалистами, имеющими соответствующую профессиональную подготовку. При замене частей оборудования следует использовать только оригинальные запчасти.

Мембранные расширительные баки "reflex" используются для компенсации температурного расширения и обеспечения давления в закрытых системах отопления и холодоснабжения. Содержание гликоля в жидкости не должно превышать 50%. При подготовке теплоносителя необходимо учитывать информацию производителя относительно допустимого количества примесей, в особенности их коррозионных свойств. Мембранные расширительные баки "reflex" не пригодны для использования с маслом и не могут применяться с ядовитыми веществами в качестве теплоносителя. По заказу возможно исполнение МРБ для применения с другими видами теплоносителя.

допустимая температура в подающей системе:	$t_{\max}$	+120 °C
мин. рабочая температура: (только при использовании антифриза соответствующей концентрации)	$t_{\min}$	-10 °C
макс. температурная нагрузка на мембрану бака:	$t$	+70 °C
макс. допустимое рабочее давление:	$P_{\max}$	по данным шильдика
мин. допустимое рабочее давление:	$P_{\min}$	0 бар

## **D. Бак аккумулятор.**

Теплоноситель циркулирует в гидравлической сети, которая представляет собой

### **Список литературы.**

1. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. –416 с.
2. Ананьев В.А. и др. «Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика». Учебное пособие – М.: «Евроклимат», изд-во «Арина», 2000 –416 с.
3. Белова Е.М. «Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами». 2003, 400 с.
4. Котзаоглиан «Refrepair Manual», [www.kotza.com](http://www.kotza.com).
5. Нимич Г.В. «Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учеб.пособие] / Г.В. Нимич, В.А. Михайлов, Е.С. Бондарь.– К.: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост – Прим» 2003. – 630с.: ил. – Библиогр.: с. 625-627.
6. Handbook ASHRAE