



24 АПРЕЛЯ 2025 Г.

КАППИЛЯРНЫЕ ТРУБКИ

В КАЧЕСТВЕ ДРОССЕЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

ГРАНОВСКИЙ А.С.
ТОО «ТЕНИЗ»
Казахстан, г. Алматы



КАПИЛЛЯРНЫЕ ТРУБКИ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Описание модуля.....	2
1. Назначение и конструкция.....	3
1.1. Общие сведения	3
1.2. Область применения	3
1.2. Особенности эксплуатации	4
1.2.1. Пропускание хладагента при выключенном компрессоре	4
1.2.2. Перегрев хладагента при работе компрессора	5
1.2.3. Влияние условий окружающей среды	5
2. Монтаж	6
2.1. Размещение.....	6
2.2. Резка капиллярной трубки	6
2.3. Измерение диаметра имеющейся капиллярной трубки.....	7
3. Засорение и его устранение	8
3.1. Возможные причины и признаки	8
3.2. Промывка капиллярной трубки	8
4. Подбор капиллярной трубки	11
4.1. Общие сведения о влиянии диаметра и длины	11
4.2. Рекомендуемые размеры капиллярной трубки	12
4.3. Пересчет длины	14
4.4. Компьютерный расчет длины	14
Дополнительные вопросы.....	16
Рекомендуемая литература	16

ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ

Требования к начальным знаниям и навыкам: Цикл холодильной машины.

После прохождения данного модуля вы сможете:

1. Понимать взаимосвязь размеров капиллярной трубки и пропускаемого через нее количества хладагента;
2. Описывать преимущества и недостатки холодильных машин с капиллярными трубками;
3. Идентифицировать капиллярную трубку
4. Производить промывку капиллярной трубки;
5. Производить подбор капиллярной трубки с использованием таблиц;
6. Пересчитывать длину капиллярной трубки при небольшом изменении ее диаметра.
7. Использовать программное обеспечение для подбора капиллярных трубок.

Требуемые учебные материалы:

1. Программное обеспечение для подбора капиллярных трубок.

Презентация: «Капиллярные трубки»

Юридическая информация:

Передача пособия или его частей третьим лицам без разрешения авторов запрещена. Авторы данного пособия сделали все возможное, чтобы пособие содержало полную и достоверную информацию. При этом авторы не несут ответственность за любые последствия, возникшие в следствие применения представленной информации.

При наличии замечаний или предложений по содержанию данной инструкции просим направлять их на электронную почту: teniz@bk.ru.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ

1.1. Общие сведения

При осуществлении холодильного цикла необходимо иметь устройство, обеспечивающее перепускание хладагента из жидкой фазы с высоким давлением в газообразную фазу с низким давлением. Этот процесс можно реализовать адиабатическим дросселированием.

Дросселированием называется процесс необратимого перехода газа (жидкости) с высокого давления на низкое при прохождении его через суженное поперечное сечение без совершения внешней работы и без сообщения или отнятия теплоты.

Процесс протекает быстро, вследствие чего теплообмен с окружающей средой практически не происходит. При дросселировании давление и температура хладагента снижается, а энтальпия не изменяется.

Дросселированию могут быть подвергнуты как жидкие, так и парообразные вещества. Тем не менее в холодильной машине на вход дросселирующего устройства должен подаваться жидкий **переохлажденный** хладагент без пара. Жидкий хладагент в процессе дросселирования начинает кипеть и на выходе из дросселирующего устройства представляет собой смесь пара и жидкости.

Для дросселирования используются следующие виды дросселирующих устройств:

1. капиллярные трубки;
2. ручные регулировочные вентили (устарели)
3. барорегулирующие вентили (устарели);
4. терморегулирующие вентили.

Данные устройства устанавливаются на жидкостном трубопроводе между конденсатором и испарителем.

Капиллярные трубки (см. рис. 1) является наиболее простым и дешевым дросселирующим устройством. Капиллярная трубка представляет собой тонкую медную трубку с внутренним диаметром 0,6...2,5 мм. При этом длина и диаметр имеют строго определенные значения, определенные таким образом, чтобы капиллярная трубка пропускала строго необходимое количество жидкого хладагента при заданном перепаде давления между конденсатором и испарителем.

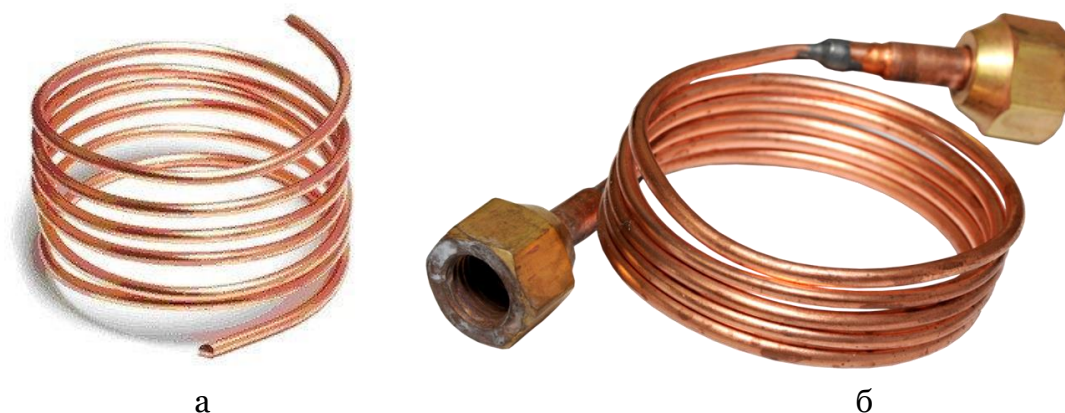


Рис. 1. Капиллярная трубка

1.2. Область применения

Капиллярная трубка не может регулировать подачу хладагента или перегрева. При росте перепада давлений на входе и выходе из нее расход хладагента увеличивается, при снижении перепада – расход хладагента

снижается. Поэтому она может использоваться только там, где тепловая нагрузка на испаритель остается все время примерно постоянной, а также примерно постоянными остаются давления конденсации и кипения хладагента.

Используются они главным образом в холодильных машинах небольшой холодопроизводительности (до 5...7 кВт) с герметичными компрессорами, работающих при постоянных условиях окружающей среды (внутри помещений). К таким холодильным машинам относятся бытовые и торговые холодильники, бытовые кондиционеры (которые преимущественно рассчитаны на работу в жаркий период года).

Тем не менее иногда капиллярные трубки в целях экономии могут использоваться и в более крупных холодильных машинах. В таких машинах на выходе из жидкостного трубопровода устанавливается распределитель жидкости (Вентури) и на его выходе припаивается несколько капиллярных трубок. Каждая из трубок направляет хладагент в отдельную секцию испарителя.

Капиллярные трубки используются в бытовых холодильниках и морозильниках, в малом торговом холодильном оборудовании (витринах, шкафах, охладителях бутылок), в низкотемпературных шкафах для хранения медицинских препаратов.

Не следует при ремонте заменять другие виды дросселирующих устройств (ТРВ) на капиллярные трубки. Обычно это может вызывать нестабильную подачу хладагента в испаритель.

Основными преимуществами капиллярных расширительных устройств являются:

- простота и низкая стоимость;
- высокая надежность и долгий срок службы;
- отсутствие необходимости настройки;
- отсутствие подвижных деталей;
- облегченный запуск компрессора из-за пропускания хладагента в период его выключения;
- пониженный пусковой ток компрессора.

Капиллярные трубки также могут использоваться для подключения измерительных приборов (манометров, датчиков давления) и реле давления к холодильной машине. В данном случае они не выполняют роль дросселирующего устройства, и их диаметр или длина не имеют принципиального значения. Обычно для подключения измерительных приборов используются капиллярные трубки с накидными гайками на концах (см. рис. 1б). Такие трубки можно изготовить на месте, или купить серийно-выпускаемые комплекты.

1.2. Особенности эксплуатации

1.2.1. Пропускание хладагента при выключенном компрессоре

Проход капиллярной трубки все время открыт. Поэтому, когда компрессор отключается (если на выходе из конденсатора нет соленоидного клапана), хладагент протекает из конденсатора в испаритель. При этом в течение нескольких минут происходит выравнивание давлений во всей холодильной машине. Так как давление выравнивается, компрессору проще запуститься после простоя. На его валу не будет возникать большой пусковой момент. Пусковой ток будет не столь большим. Поэтому в системах с капиллярной трубкой используются компрессоры с электродвигателем с низким пусковым моментом.

С другой стороны, перепускание жидкого хладагента в испаритель при выключенном компрессоре может вызывать проблемы. Дело в том, что этот

хладагент далее может мигрировать в компрессор, из-за чего при пуске может возникнуть разбавление смазки или гидроудар.

Чтобы этих явлений не произошло в холодильной машине с капиллярной трубкой должно быть минимально-возможное количество хладагента. Производители компрессоров зачастую указывают максимально-возможную заправку хладагента в холодильной машине с капиллярной трубкой. Производители же холодильных машин всегда указывают точное значение массы хладагента, которое необходимо заправить. При заправке это количество хладагента должно быть отмерено по весам.

Для снижения риска стекания жидкого хладагента из испарителя при простое, его конструкция обычно имеет выход сверху. Таким образом жидкий хладагент не может выйти из испарителя при выключенном компрессоре.

1.2.2. Перегрев хладагента при работе компрессора

Перегрев хладагента в испарителе при работе компрессора в системе с капиллярной трубкой не является постоянной величиной. При увеличении тепловой нагрузки на испаритель (например, при высокой уличной температуре), перегрев увеличивается. При уменьшении нагрузки перегрев уменьшается. Поэтому заправку системы с капиллярной трубкой трудно осуществить по перегреву. При большой нагрузке перегрев может достигать 20...25 °С. Система в таком режиме работает очень неэффективно. Может показаться, что произошла утечка хладагента и его в системе недостаточно. Если произвести дозаправку хладагента, через некоторое время, когда тепловая нагрузка на холодильную машину снизится, обнаружится, что хладагента в машине слишком много. Поэтому, если необходимо производить заправку машины с капиллярной трубкой, лучше полностью удалить весь хладагент и только потом заправлять новый по массе.

Стоит также учитывать, что машины с капиллярной трубкой (как и любые другие) обладают большой инертностью. Если произвести заправку некоторого количества хладагента, заметные изменения в работе холодильной машины начнут происходить только через 15 минут её работы. Поэтому, нельзя спешить при заправке систем с капиллярной трубкой. Это может вызвать избыточную заправку.

1.2.3. Влияние условий окружающей среды

Давление в конденсаторе сильно влияет на количество хладагента, которое проходит через капиллярную трубку. Поэтому холодопроизводительность машины с капиллярной трубкой меняется в зависимости от температуры окружающего воздуха.

В связи с этим для холодильных машин с капиллярными трубками строго оговаривается диапазон температур окружающей среды, к которым они могут применяться.

Применение холодильной машины с капиллярной трубкой за пределами диапазона, указанного производителем холодильной машины, может существенно снизить эффективность холодильной машины и привести к ускоренному износу компрессора (из-за перегрева при непрерывной работе или влажного хода).

2. МОНТАЖ

2.1. Размещение

В капиллярную трубку должен поступать только жидкий хладагент. В малых холодильных машинах роль накопителя жидкого хладагента выполняет фильтр-осушитель.

Жидкий хладагент должен стекать из конденсатора в фильтр-осушитель. Далее жидкий хладагент должен из нижней части фильтра-осушителя стекать в направлении “сверху вниз” в капиллярную трубку. Для этого ось вращения фильтра-осушителя должна быть наклонена к горизонту не менее чем на 15° , а вход капилляра расположен на самом низком уровне. В этом случае в капилляре создается гидравлический затвор, который препятствует проникновению пара (см. рисунок 2).

При направлении потока “снизу вверх” жидкость достигает капилляра только в результате движения под действием скорости газа, тогда как по своим природным свойствам она стремится течь назад, тем самым способствуя прохождению через нее пузырей пара и попаданию их в капилляр. В результате этого уменьшается эффективность работы холодильной машины.

Также обратите внимание, что избыточная длина капиллярной трубки должна быть свернута в спираль, скрепленную хомутами. Такое крепление капиллярной трубки снижает риск ее перетирания и залома.

Так как капиллярная трубка выполняет роль рекуперативного теплообменника, её обычно наматывают на всасывающий трубопровод компрессора и сверху покрывают слоем теплоизоляции.

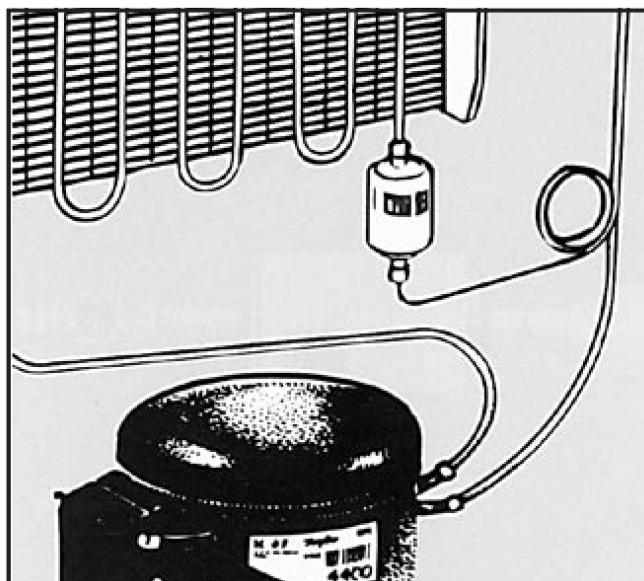


Рис. 2. Схема монтажа фильтра-осушителя и капиллярной трубки

2.2. Резка капиллярной трубки

Для резки капиллярной трубки можно использовать специальный инструмент, называемый капиллярными ножницами. Они позволяют отрезать капиллярную трубку, не сминая ее.

Если капиллярных ножниц нет в наличии, капиллярную трубку надпиливают по периметру при помощи напильника, а затем отламывают.



Рис. 3. Ножницы для капиллярных трубок

2.3. Измерение диаметра имеющейся капиллярной трубки

Если имеющуюся капиллярную трубку не удалось прочистить, следует произвести ее замену. В идеальном случае следует заменить имеющуюся трубку на другую с точно таким же внутренним диаметром и длиной. Однако практическую сложность может представлять задача измерения внутреннего диаметра капиллярной трубки.

Для определения диаметра имеющейся капиллярной трубки можно использовать инструменты с рис. 4.



а



б

Рис. 4. Варианты для измерения внутренних диаметров капиллярных трубок: а – Набор калибров Refco CH-8583; б – набор сверл Зубр 0,33-1 мм 29625-H20-P

В качестве набора для примерного измерения внутреннего диаметра капиллярных трубок можно использовать набор малых сверл.

Также набор таких калибров можно изготовить самостоятельно из иголок различных размеров. Для точного измерения диаметров потребуется микрометр.

3. ЗАСОРЕНИЕ И ЕГО УСТРАНЕНИЕ

3.1. Возможные причины и признаки

Проход капиллярной трубки может забиться: твердыми частицами, водяным льдом, продуктами разложения смазки. Поэтому перед капиллярной трубкой всегда должен быть установлен фильтр-осушитель, который задерживает воду и любые твердые частицы.

Перекрытие капиллярной трубки вызывает снижение холодопроизводительности холодильной машины и в предельном случае прекращение циркуляции хладагента. При этом может произойти выход компрессора из строя по причине его перегрева.

Признаки засорения капиллярной трубки:

1. Испаритель не заполнен хладагентом. Испаритель охлаждается только в месте входа капиллярной трубки. Большая часть его поверхности теплая;
2. Давление всасывания сильно понижено,
3. перегрев хладагента на выходе из испарителя очень большой.
4. Давление нагнетания может быть пониженным или очень низким (если весь жидкий хладагент сконденсировался и заперт на выходе из конденсатора). Естественно, при этом испаритель холодильной машины не заполнен хладагентом и не охлаждает воздух. При полном закупоривании капиллярной трубки может возникнуть впечатление, что в холодильной машине вообще нет хладагента.
5. Переохлаждение на выходе из конденсатора повышенное.
6. Потребляемый ток компрессора ниже.
7. Температура в холодильной камере повышена.
8. Компрессор не отключается.

Внимание! В системах с капиллярными трубками хладагент может оставаться на стороне высокого давления. Всегда вначале прокалывайте фильтр-осушитель проколкой или отрезайте капиллярную трубку на его выходе. Только после стравливания всех остатков хладагента со стороны высокого давления производите распайку трубок!

Если в системе имеется некоторое количество воды, она может превратиться в лед при понижении температуры в капиллярной трубке и вызвать закупоривание её прохода. Характерный признак наличия воды следующий. После длительного простоя можно включить холодильную машину. В первые минуты она будет производить охлаждение (будет чувствоваться понижение температуры испарителя). Через несколько минут работы испаритель может перестать охлаждаться несмотря на работающий компрессор и проявляются все признаки выше. Если отключить компрессор на некоторое время, после пуска ситуация будет повторяться.

Закупоривание трубки может быть вызвано также окалиной, стружкой, припоем и любыми другими мелкими частицами, которые могли попасть в процессе монтажа.

Также, если масло в холодильной машине имеет слишком большую вязкость (из-за химических реакций с водой), оно может вызвать частичное или полное перекрытие прохода капиллярной трубки.

3.2. Промывка капиллярной трубки

Если капиллярная трубка забита какими-либо веществами её можно прочистить. Для этого следует промыть ее в направлении, обратном движению хладагента. С одной стороны, в капиллярную трубку нагнетают промывочную жидкость.

В качестве промывочного вещества могут использоваться:

1. **Холодильное масло.** Оно не может растворить большинство отложений, засоряющих капиллярную трубку. Поэтому его использование малоэффективно.
2. **Промывочный фреон R141b.** Он довольно хорошо растворяет многие вещества и является хорошим вариантом для промывки трубки. В настоящий момент он отнесен к озоноразрушающим веществам и не должен использоваться. Его преимуществом является то, что после окончания промывки его можно относительно легко (при положительных температурах окружающей среды) удалить из холодильного контура вакуумированием. Тем не менее в контуре не должно сохраняться остатков данного хладагента, так как его наличие может привести к непредсказуемым химическим реакциям и повреждению обмоток компрессора.
3. **Растворители общего назначения** (ацетон, Уайт-спирит, очиститель карбюраторов Carb Cleaner и т.п.). Они хорошо растворяют засоры, образованные продуктами разложения смазки. Однако, их может быть затруднительно удалить из холодильного контура. Если такое вещество останется в холодильном контуре, то оно может создать непредсказуемые проблемы (в том числе повреждение компрессора). Поэтому при их использовании следует минимизировать их количество, а также после промывки тщательно очистить контур от возможных остатков: продувкой и вакуумированием и/или промывкой маслом.

Для создания давления может использоваться баллон с сухим азотом или гидравлический домкрат (рис. 5). Также для увеличения эффективности операции сама трубка может прогреваться внешним источником теплоты

При создании избыточного давления следует соблюдать осторожность. Не повышайте давление выше 20...30 Бар. Чрезмерно-высокое давление может привести к разрыву присоединительных патрубков и тяжелым травмам.



Рис. 5. Хладагент R141b и гидравлический домкрат для промывки капиллярной трубки

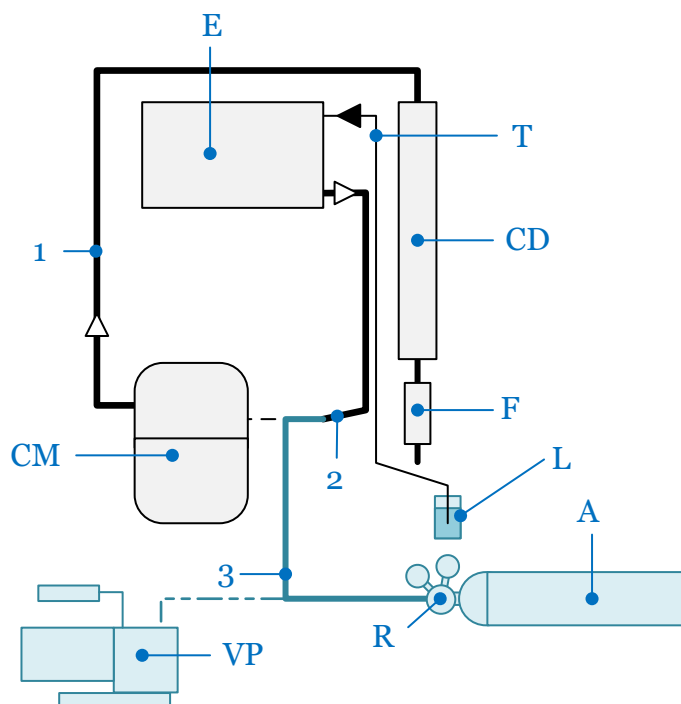


Рис. 6. Схема промывки капиллярной трубки в холодильном шкафе: 1 – нагнетательный трубопровод; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – шланг; А – баллон с азотом; СМ – компрессор; CD – конденсатор; F – фильтр-осушитель; Т – капиллярная трубка; R – редуктор давления

Обычная последовательность промывки (см. рис. 6):

1. Капиллярная трубка Т отрезается от фильтра-осушителя F. Другой конец трубки обычно должен быть оставаться подсоединенным к испарителю Е (так как к нему обычно трудно получить доступ).
2. Отрезанный конец трубки опускается в емкость с промывочной жидкостью L;
3. При помощи вакуумного насоса VP в испарителе Е создается вакуум. При этом промывочная жидкость начинает всасываться в капиллярную трубку. В капиллярную трубку всасывается небольшое количество промывочной жидкости. Вакуумный насос VP отключается. Далее необходимо подождать несколько десятков минут, чтобы промывочная жидкость растворила загрязнения;
4. Вместо вакуумного насоса к выходу из испарителя подключается баллон с азотом. В испаритель подается инертный газ под высоким давлением (например, 10 Бар(g)).
5. Высокое давление выдавливает продукты загрязнения из капиллярной трубки Т.
6. Если загрязнения не выходят из капиллярной трубки, действия повторяются с п. 2.
7. Принимают действия, направленные на удаление остатков промывочной жидкости: продувку азотом, вакуумирование, промывка холодильным маслом (при возможности удаления избытков масла).

Альтернативный вариант предполагает срезание капиллярной трубки и ее промывку маслом или другой промывочной жидкости с использованием гидравлического домкрата (рис. 5б). При использовании домкрата не следует создавать на входе в трубку давление выше 15...20 Бар(g). Более высокие давления могут вызвать разрыв трубки между домкратом и капиллярной трубкой, что сопровождается разлетом осколков и жидкости под высоким давлением.

Промывка капиллярной трубки может занять много времени (несколько часов или даже дней). В некоторых случаях промывка может не дать результата. В таком случае приходится производить замену капиллярной трубки.

4. ПОДБОР КАПИЛЛЯРНОЙ ТРУБКИ

4.1. Общие сведения о влиянии диаметра и длины

Капиллярная трубка должна пропускать строго необходимое количество хладагента. Пропускная способность трубки определяется определенным сочетанием ее длины и диаметра.

Чем больше длина трубки – тем меньше хладагента она пропускает. Чем меньше диаметр хладагента – тем меньше хладагента она пропускает.

Внутренний диаметр капиллярной трубки очень сильно влияет на количество пропускаемого хладагента. К примеру, изменение трубки всего на 1 размер (с 0,026 до 0,031 дюйма) без изменения ее длины, может привести к увеличению расхода хладагента в два раза.

Рекомендуется использовать капиллярные трубки, внутренний диаметр которых составляет около 1 мм. Трубки с внутренним диаметром менее 0,5 мм могут легко засоряться, в связи с чем их использование без крайней необходимости не рекомендуется.

Длина также влияет на расход хладагента через капиллярную трубку. Однако следует понимать, что существует оптимальный диапазон длин (от точки S до точки L на рис. 7). Если трубка имеет очень большую длину (больше точки L), изменение длины не будет приводить к видимому изменению расхода хладагента. Если трубка имеет слишком малую длину (меньше точки S), небольшое изменение длины капиллярной приводит к резкому изменению расхода хладагента через капиллярную трубку.

Длина капиллярной трубки должна быть не менее 1,5 м и обычно не более 4,5 м. Имеющиеся расчетные модели не позволяют точно производить расчет капиллярных трубок длиной менее 1 метра.

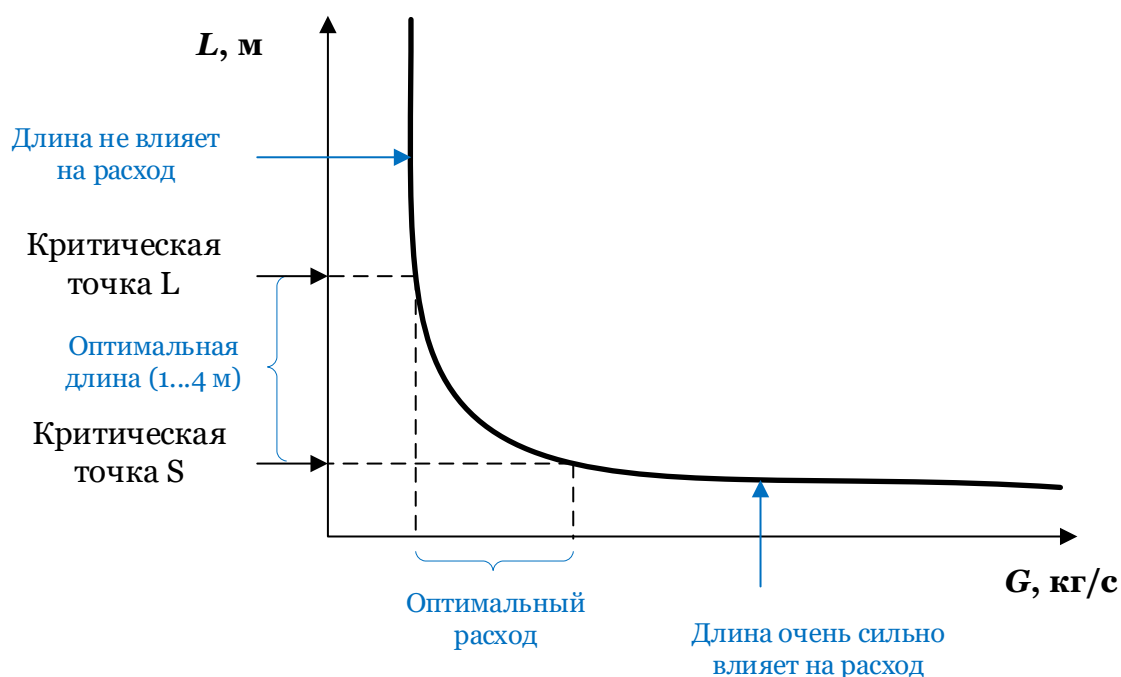


Рис. 7. Связь расхода хладагента G через капиллярную трубку с ее длиной L

Также следует учитывать, что на работу капиллярной трубки влияет также то, используется ли она в схеме с рекуперативным теплообменником или нет. Обычно считается, что примерно половина длины капиллярной трубки (50...60%) намотана на всасывающий трубопровод. При этом пар, выходящий из испарителя, дополнительно перегревается в рекуперативном теплообменнике на 10...20°C. Жидкий хладагент, выходящий из конденсатора в данном случае в начальной секции рекуперативного теплообменника, переохлаждается. Если стоит задача оценить величину дополнительного перегрева хладагента в рекуперативном теплообменнике, то следует обратиться к методике из [1, С. 288].

Следует учитывать, что чрезмерный перегрев пара в рекуперативном теплообменнике до температур выше +15...+20°C может привести к перегреву электродвигателя компрессора. Поэтому рекуперативный теплообменник не должен быть слишком большим.

Таблица 1 – Размерный ряд капиллярных трубок

Внутренний диаметр, дюйм	Внутренний диаметр, мм
0,026"	0,66
0,028"	0,71
0,031"	0,787
0,036"	0,914
0,040"	1,016
0,042"	1,067
0,044"	1,118
0,046"	1,168
0,049"	1,245
0,050"	1,270
0,052"	1,320
0,054"	1,370
0,055"	1,398
0,059"	1,499
0,064"	1,626
0,070"	1,778
0,075"	1,905
0,080"	2,032
0,085"	2,159
0,090"	2,289
0,100"	2,540

4.2. Рекомендуемые размеры капиллярной трубки

Производители компрессоров холодильных машин часто приводят проверенные на практике рекомендованные сочетания длины и диаметра капиллярной трубки. В любом случае следует ориентироваться на данные рекомендации.

Таблица 2 – Рекомендации по подбору капиллярной трубки для кондиционеров на хладагенте R22

Холодопроизводительность		Капиллярная трубка			
BTU	Вт	Длина		Диаметр	
		Дюйм	мм	Дюйм	мм
4000	1150	69	1753	0,049	1,245
4250	1250	63	1600	0,049	1,245
4500	1323	90	2286	0,054	1,372
4750	1397	81	2057	0,054	1,372
5000	1470	72	1829	0,054	1,372

Холодопроизводительность		Капиллярная трубка			
BTU	Вт	Длина		Диаметр	
		Дюйм	мм	Дюйм	мм
5250	1544	63	1600	0,054	1,372
5500	1617	101	2565	0,064	1,626
5750	1691	94	2388	0,064	1,626
6000	1764	87	2210	0,064	1,626
6250	1838	79	2007	0,064	1,626
6500	1912	72	1829	0,064	1,626
6750	1985	64	1626	0,064	1,626
7000	2058	90	2286	0,07	1,778
7250	2132	84	2134	0,07	1,778
7500	2205	78	1981	0,07	1,778
7750	2280	73	1854	0,07	1,778
8000	2353	69	1753	0,07	1,778
8250	2466	64	1626	0,07	1,778
8500	2500	84	2134	0,075	1,905
8750	2574	78	1981	0,075	1,905
9000	2647	72	1829	0,072	1,829
9250	2720	67	1702	0,075	1,905
9500	2794	84	2134	0,08	2,032
9750	2868	84	2134	0,08	2,032
10000	2941	76	1930	0,08	2,032
10250	3015	72	1829	0,08	2,032
10500	3088	68	1727	0,08	2,032
10750	3162	64	1626	0,08	2,032
11000	3236	60	1524	0,08	2,032
11250	3309	87	2210	0,085	2,159
11500	3382	84	2134	0,085	2,159
11750	3456	78	1981	0,085	2,159
12000	3529	72	1829	0,085	2,159
12500	3676	82	2083	0,09	2,286
13000	3823	72	1829	0,09	2,286
13500	3970	66	1676	0,09	2,286
14000	4118	60	1524	0,09	2,286

Примечания:

1. Для хладагента R134a длины капиллярных трубок следует уменьшить на 10%.
2. Источник: <https://www.rsl.ca/Resources/references/capillary-tubing-info>

Для других холодильных машин рекомендации по размерам капиллярных трубок можно найти в приложении к данному модулю (см. файл «Huaiy Technical Note Capillary tube size.pdf»). для использования указанных таблиц необходимо рассчитать массовый расход хладагента по холодильному контура на основе теоретического цикла холодильной машины.

При использовании таблиц следует обратить внимание на то, для каких условий они построены. Также обратите внимание, что чаще всего таблицы построены для ситуации, когда капиллярная трубка намотана на всасывающий трубопровод и образует рекуперативный теплообменник. Если трубка не будет наматываться на всасывающий трубопровод ее длина должна измениться.

Для крупных воздухоохладителей в каждую отдельную секцию хладагент подается через отдельную капиллярную трубку. В таком случае для подбора капиллярной трубки нужно общую холодопроизводительность испарителя разделить на число параллельных секций в испарителе. Капиллярная трубка подбирается по холодопроизводительности одной секции.

В любом случае решение об окончательной длине капиллярной трубки должно основываться на результатах экспериментального исследования работы холодильной машины.

4.3. Пересчет длины

Очень часто обнаруживается, что необходима капиллярная трубка, диаметра которой нет в наличии. В данном случае, если вы знаете длину и диаметр старой капиллярной трубки (например, на основе справочных данных), а также диаметр новой капиллярной трубки, можно рассчитать требуемую длину новой капиллярной трубки.

Приблизительную длину нового капилляра для случая без рекуперативного теплообменника поможет определить следующая формула:

$$L = \left(\frac{D}{D_0}\right)^{4,7} \cdot L_0.$$

При наличии рекуперативного теплообменника для пересчета длины капиллярной трубки следует использовать формулу [3]:

$$L = \left(\frac{D}{D_0}\right)^{6,1} \cdot L_0,$$

где L и D – длина и внутренний диаметр трубки, подбираемой на замену, м;
 L_0 и D_0 – табличные значения длины и диаметра капиллярной трубки, м.

4.4. Компьютерный расчет длины

При расчете крайне важно правильно задать температуры цикла холодильной машины. Температура конденсации обычно задается в диапазоне от 30 до 45°C. Переохлаждение хладагента на выходе из конденсатора (на входе в капиллярную трубку): 2°C.

Также расчёт параметров капиллярной трубки можно осуществить при помощи компьютерных программ Secor CapSel, Tecumseh Web Applications Capillary Tube Sizing (<http://boxload.tecumseh.com>) или DanCap (больше не выпускается). Secor CapSel и DanCap по сути, являются одинаковыми, но в последней программе более широкая база хладагентов.

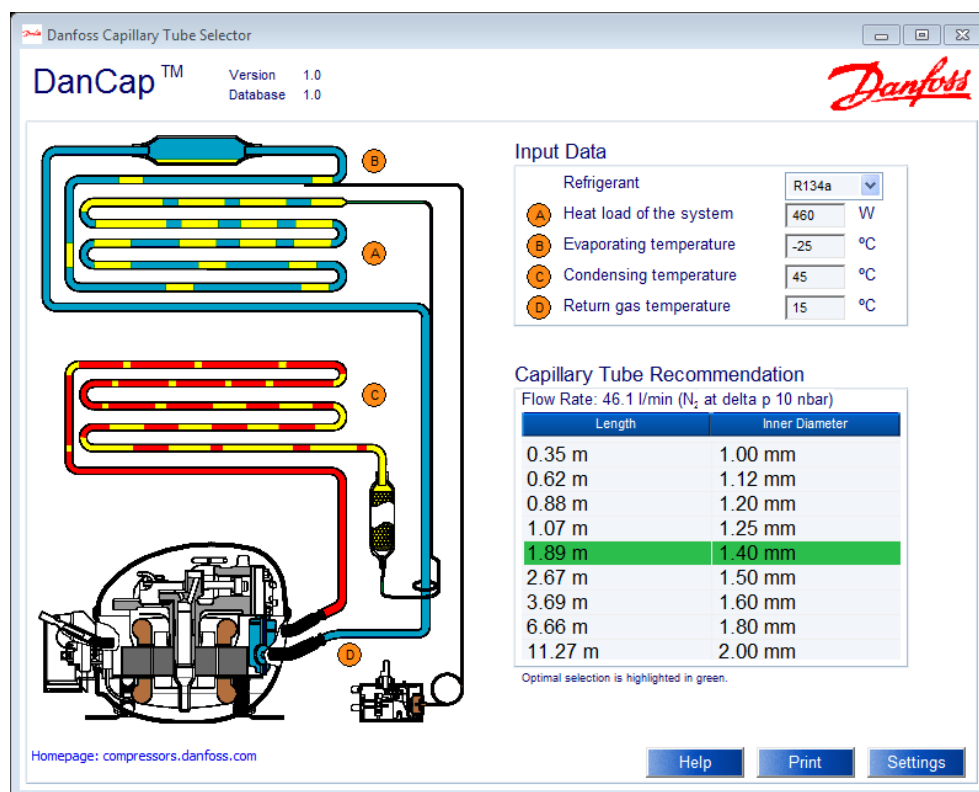


Рис. 8. Окно программы DanCap

Tecumseh Web Applications имеет большую базу хладагентов и дает возможность производить подбор капиллярных трубок для систем большой холодопроизводительности (более 10 кВт). Однако, во многих случаях результаты расчета по данным программам существенно отличаются. Соответственно их следует сверять с рекомендациями производителей компрессоров.

При использовании данных программ следует ввести температуры в основных точках цикла холодильной машины, выбрать тип хладагента. Также необходимо указать **расчетную тепловую нагрузку** холодильной машины.

Внимание! Расчетная тепловая нагрузка существенно меньше холодопроизводительности компрессора может быть значительно меньше холодопроизводительности компрессора. Связано это с тем, что:

1. в малых холодильных машинах закладывают большой резерв производительности;
2. компрессор включается периодически и работает обычно не более 70% времени, а испаритель работает непрерывно, так как капиллярная трубка никогда не перекрывает подачу хладагента.

Не указывайте в расчетной программе холодопроизводительность компрессора, так как она может быть в 1,5...2 раза выше расчетной тепловой нагрузки.

Также при расчете указывайте среднюю ожидаемую температуру конденсации, а не максимальную летнюю температуру конденсации при максимальной температуре атмосферного воздуха на улице!

Расчетные программы как правило показывают ряд возможных вариантов диаметра и длины капиллярной трубки. Длина капиллярной трубки должна быть не менее 1,5 м и обычно не более 4,5 м.

Расчеты будут корректными только при условии наличия рекуперативного теплообменника.

Обычно расчетная программа дает лишь приблизительные сведения о необходимых размерах капиллярной трубки. В реальности после предварительного подбора может потребоваться корректировка длины капиллярной трубки опытным путем. Поэтому рекомендуется сначала взять трубку немного завышенной длины и затем производить её укорачивание.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую функцию выполняют капиллярные трубки в холодильной машине?
2. Каковы основные преимущества использования капиллярных трубок?
3. Какие факторы влияют на выбор диаметра капиллярных трубок для конкретной холодильной системы?
4. Почему важно обеспечить правильную длину капиллярных трубок?
5. Какие основные проблемы могут возникнуть при эксплуатации капиллярных трубок, и как их можно решить?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Якобсон, В. Б.** Малые холодильные машины. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.
2. Technical note: Recommendations for the determination of capillary tube size / Cubigel compressors by Huayi Compressor. – 14 p.
3. Capillary tube selection software user manual / Cubigel compressors by Huayi Compressor. – 5 p.
4. **ASHRAE RP-762:** ASHRAE method for predicting capillary tube-suction line heat exchanger performance.
5. **ASHRAE RP-948:** Performance of a suction-line / Capillary-tube heat exchanger.