

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

В.М. Долбаненко, А.В. Семёнов

**ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ
МАШИНЫ**

Методические указания для лабораторно-практических работ

Красноярск 2018

Рецензент

*А.А. Вишняков, д-р техн. наук, профессор кафедры
«Общеинженерные дисциплины»*

Долбаненко, В.М.

Изучение устройства и работы холодильной машины: метод. указания для лабораторно-практических работ / В.М. Долбаненко, А.В. Семёнов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018 – 12 с.

Содержатся сведения об устройстве и работе холодильной машины.

Предназначено для студентов очного и заочного отделений, обучающихся по направлениям 35.03.06 «Агроинженерия», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции», 36.03.02 «Зоотехния».

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

© Долбаненко В.М., Семёнов А.В., 2018
© ФГБОУ ВО «Красноярский
государственный аграрный университет», 2018

Цель работы: изучить устройство и принцип работы холодильной машины.

Приборы и оборудование: холодильная установка, плакаты, схемы.

Содержание работы

1. Изучить назначение и устройство холодильной установки.
2. Изучить принцип работы холодильной установки.
3. Научиться настраивать ее для работы в различных режимах.
4. Изучить правила пуска и остановки установки.
5. Зарисовать технологическую схему холодильной установки.
6. Изучить электрическую схему управления установкой и контрольно-измерительную аппаратуру.

На животноводческих фермах для охлаждения молока, сливок и других продуктов применяют компрессионные холодильные установки, в которых используют физический процесс, протекающий со значительным поглощением теплоты – кипение жидкого вещества – хладагента, при отрицательной температуре.

Хладагенты. Известно, что кипение – это процесс перехода вещества из жидкого состояния в парообразное. При кипении подводимая к данной жидкости из окружающей среды теплота затрачивается не на повышение температуры жидкости, а на превращение ее в пар. В холодильной установке для этих целей используют жидкости, кипящие при атмосферном давлении, значительно ниже 0 °С. Такие жидкости называют холодильными агентами (хладагентами), к которым относятся аммиак и хладон.

Аммиак (NH_3) – бесцветный газ с удушливым сильным запахом, легче воздуха. Он раздражает слизистую оболочку носа, глаз, дыхательных путей. Содержание его в воздухе более 0,03 % вредно для организма. При содержании аммиака в воздухе около 16–25 % образуется взрывоопасная смесь. При соединении аммиака с водой образуется нашатырный спирт, который разъедает медь, цинк и их сплавы.

Вытяжную вентиляцию в машинных отделениях делают вверху помещения. При атмосферном давлении аммиак кипит при температуре – 33–35 °С. При давлении 0,16–0,18 МПа аммиак конденсируется при температуре 35 °С.

Хладон получают из метана (CH_4) и этана (C_2H_6) заменой атомов

водорода атомами хлора (С1) и фтора (F). Самые распространенные – хладон 12 (CF₂Cl₂) и хладон 22 (CHF₂Cl₂).

Хладон 12 (дифтордихлорметан) – это бесцветный газ, не имеющий запаха, безвреден для человека при концентрации в воздухе до 20 %. При концентрации более 20 % человек задыхается от недостатка кислорода. Он в 5–6 раз тяжелее аммиака и в 4,3 раза тяжелее воздуха. При атмосферном давлении хладон 12 кипит при температуре – 29,8 °С. При давлении 0,75 МПа конденсируется, при температуре 30 °С. Температура затвердевания равна – 165 °С.

Хотя хладон 12 негорюч и невзрывоопасен, но при температуре выше 400 °С он разлагается, образуя фтористый и хлористый водород, а также следы ядовитого газа фосгена. Поэтому курить и работать с открытым пламенем в помещении, где установлена хладоновая холодильная установка, категорически воспрещается.

Вода в хладоне почти не растворяется. Поэтому даже небольшое количество влаги, попавшее в установку, вызывает ее замерзание, что приводит к нарушению нормальной работы установки – влага замерзает в дроссельном отверстии регулирующего вентиля.

Хладон 12 очень текуч. Он способен проникать через малейшие неплотности. Поэтому требуется особенно тщательно следить за уплотнениями в местах соединений.

Хладон 22 (диформонохлорметан) – это тяжелый бесцветный газ, по своим физико-химическим свойствам близок к хладону 12. При атмосферном давлении он кипит при температуре – 40,8 °С. При температуре – 160 °С хладон 22 затвердевает. Он негорюч, но взрывоопасен. При концентрации в воздухе до 10–15 % он безвреден для человека. Обладает большой текучестью. При замене хладона 12 на хладон 22 производительность установки возрастает на 60 %.

Для обозначения хладагентов принята система, разработанная международной организацией по стандартизации (ИСО). В соответствии с этой системой хладагенты обозначают буквой R (Refrigererit) и цифрами. Так, хладон 12 обозначается R12, а хладон 22 – R22.

Для животноводческих ферм выпускают хладоновые холодильные машины типа АВ-14, АВ-30, УВ-10, МВТ-14, МВТ-20, МКТ-20.

Хладоновая холодильная машина (рис. 1) представляет собой замкнутую герметическую систему, состоящую из четырех основных элементов: испарителя 1 компрессора 2, конденсатора 3 и регулирующего вентиля 4, соединенных между собой трубопроводами.

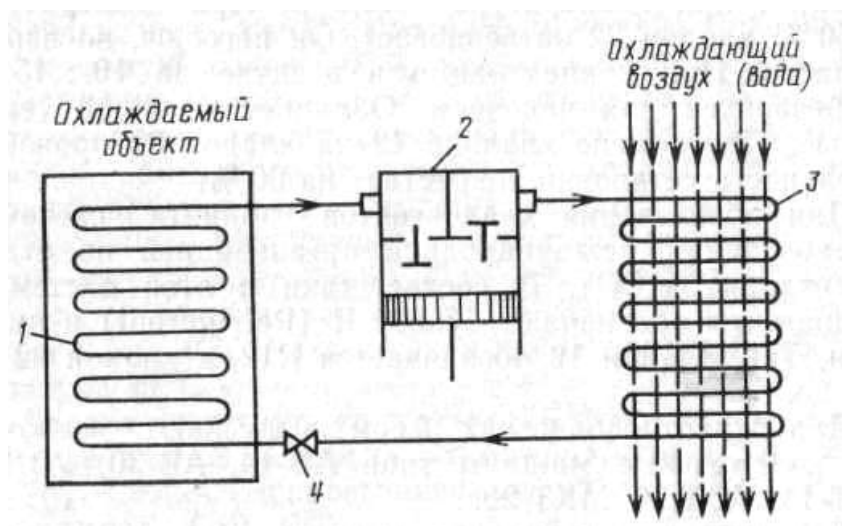


Рисунок 1 – Схема компрессионной холодильной установки:
 1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – регулирующий вентиль

Испаритель – это аппарат, в котором жидкий хладагент кипит при низком давлении при отрицательной температуре, отводя теплоту от охлаждаемого объекта. Чем ниже давление, поддерживаемое в испарителе, тем ниже температура кипящей жидкости. Температуру кипения хладагента обычно поддерживают на 10..15 °С ниже температуры охлаждаемого объекта.

Компрессор предназначен для отсасывания паров из испарителя, чтобы поддерживать в нем низкое давление, соответствующее низкой температуре кипения, а также для сжатия, отсасываемого из испарителя пара хладагента до такого высокого давления, при котором его можно превратить в жидкость путем охлаждения воздухом или водой.

Превращение пара хладагента в жидкость и последующая подача ее опять в испаритель необходима, чтобы обеспечить непрерывную работу холодильной установки – обеспечить замкнутый цикл. При сжатии паров хладагента компрессором механическая энергия превращается в потенциальную энергию сжатых паров, а часть ее переходит в тепловую и сжатые пары нагреваются до 70–80 °С, что позволяет затем охлаждать их воздухом или водой. Привод компрессора осуществляется электродвигателем.

Конденсатор предназначен для охлаждения перегретых паров хладагента до температуры конденсации. При охлаждении воздухом применяют воздушные конденсаторы. Воздушное охлаждение применяют в установках небольшой производительности, в более мощных – конденсаторы с водяным охлаждением.

Регулирующий вентиль обеспечивает необходимое сопротивление между сторонами высокого и низкого давления. Попадая в испаритель, жидкий хладон кипит и отбирает теплоту от стенок испарителя, а они, в свою очередь, отбирают теплоту от воздуха камеры или промежуточного хладоносителя – воды, рассола. По мере продвижения хладоносителя по каналу испарителя количество жидкой фазы уменьшается, а количество паров возрастает. Сухие перегретые пары хладоносителя вновь отсасываются из испарителя через теплообменник компрессором и цикл замыкается.

Отсасывание паров хладоносителя из испарителя, их сжатие, выталкивание из компрессора в конденсатор, движение по конденсатору и прохождение через терморегулирующий вентиль происходит за счет механической энергии электродвигателя, приводящего в работу компрессор.

Паровая холодильная установка устроена сложнее. На рисунке 2 изображена схема установки с одним объектом охлаждения. В ее состав, кроме испарителя, компрессора, конденсатора и регулирующего вентиля, входят ресивер, фильтр–осушитель, теплообменник, реле давления, чувствительный патрон регулирующего вентиля, контрольно-измерительная аппаратура.

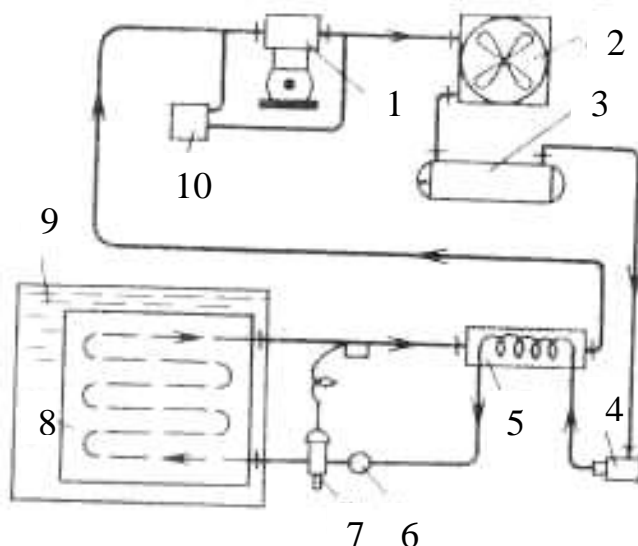


Рисунок 2 – Схема холодильной установки с одним объектом охлаждения:

1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – ресивер; 4 – фильтр–осушитель; 5 – теплообменник; 6 – смотровое стекло; 7 – регулирующий вентиль; 8 – панель испарителя; 9 – ванная аккумулятора холодной воды; 10 – реле давления

Ресивер представляет собой емкость для сбора сконденсировавшегося жидкого хладона, который стекает из конденсатора в ресивер. Это дает возможность использовать всю поверхность конденсатора для охлаждения паров хладона. Кроме того, жидкий хладон, собранный в ресивере, служит своеобразным гидравлическим барьером, препятствующим газообразному хладону непосредственно из конденсатора через регулирующий вентиль поступать в испаритель.

Фильтр-осушитель предназначен для поглощения влаги из жидкого хладона, так как капли свободной влаги, оказавшиеся в хладоне, замерзают в регулирующем вентиле и нарушают работу установки. Рабочим веществом для фильтра служит силикагель, представляющий собой бесцветные голубоватые кристаллы кремниевой кислоты, способные поглощать влагу в количестве 10 % к собственной массе. Фильтр-осушитель установлен на жидкостной линии установки.

Теплообменник представляет собой цилиндрический сосуд, закрытый с торцов, внутри которого помещен трехзаходный змеевик из медных трубок. По цилиндрическому сосуду движутся пары хладона, по змеевику противотоком проходит жидкий хладон. Охладившись, жидкий хладон поступает к терморегулирующему вентилю и далее в испаритель.

Реле давления служит для контроля за давлением паров хладона в линиях высокого и низкого давления, автоматического включения и отключения электродвигателя компрессора в зависимости от предельных значений давления во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, а также от тепловой нагрузки.

При колебаниях тепловой нагрузки охлаждаемого объекта (бака аккумулятора холода) и, следовательно, испарителя изменяется количество выкипающего в нем жидкого хладона в единицу времени. Чем выше тепловая нагрузка, тем больше жидкого хладона превращается в пар. Поэтому при повышенной тепловой нагрузке должно увеличиваться и поступление жидкого хладона в испаритель, при снижении тепловой нагрузки поступление жидкого хладона должно уменьшаться, т. е. в единицу времени в испаритель должно поступать столько жидкого хладона, сколько его выкипает.

Если при повышении тепловой нагрузки поступление жидкого хладона не увеличивать, то теплопередающая поверхность испарителя используется не полностью, его производительность снижается, что экономически невыгодно.

Если при снижении тепловой нагрузки не уменьшать поступление жидкого хладагента в испаритель, то произойдет его переполнение. Жидкий хладагент может попасть во всасывающий трубопровод, затем в компрессор и вызвать гидравлический удар, что может привести к аварии.

Терморегулирующий клапан (ТРВ) (рис. 3) предназначен для автоматического регулирования подачи жидкого хладагента в испаритель. Он состоит из термодатчика 1, капиллярной трубки 2, мембраны 3, регулировочного винта 4, стержня клапана 5, пружины 6, клапана 8 и камеры 7.

Термодатчик, капилляр и полость над мембраной заполнены хладагентом. Мембрана толщиной 0,15 мм сделана из бериллиевой бронзы. Для увеличения гибкости на поверхности мембраны нанесены кольцевые гофры. На клапан снизу действует пружина 6, стремящаяся закрыть отверстие, через которое поступает хладагент.

Полость под мембраной соединена с всасывающим трубопроводом компрессора. Термодатчик крепят к всасывающему трубопроводу на выходе из испарителя. Он воспринимает теплоту отсасываемых паров хладагента из испарителя и поэтому должен быть хорошо термоизолирован от окружающей среды.

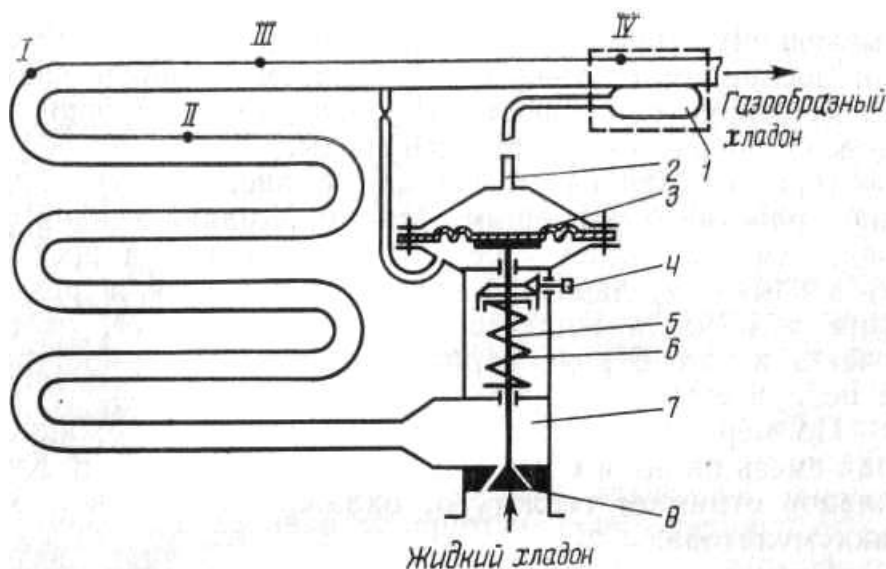


Рисунок 3 – Схема включения регулирующего клапана:

- 1 – чувствительный датчик регулирующего клапана; 2 – капилляр;
 3 – мембрана; 4 – регулировочный винт; 5 – стержень клапана; 6 – пружина;
 7 – камера; 8 – клапан; I, II, III, IV – контрольные точки

Терморегулирующий клапан с внешним уравниванием работает следующим образом. Жидкий хладон под большим давлением через отверстие клапана поступает в камеру 7, давление хладона снижается, в результате чего часть жидкого хладона испаряется, охлаждается и уже в виде парожидкостной смеси поступает в испаритель.

По мере продвижения по испарителю парожидкостная смесь кипит и полностью превращается в пар. Кипя, хладон отнимает теплоту от охлаждаемой воды в баке аккумулятора.

Предположим, что в точке I весь хладон превратился в пар. При дальнейшем движении паров хладона от точки I до точки IV происходит перегрев пара, то есть повышение температуры по отношению к точке кипения. Терморегулирующие клапаны настраиваются таким образом, чтобы температура перегрева паров хладона была в пределах 3–4 °С.

Термопатрон, устанавливаемый в точке IV, воспринимает теплоту перегретых паров. Находящийся в термопатроне хладон нагревается, увеличивается в объеме и давит на мембрану 3. Пространство под мембраной соединено с всасывающим трубопроводом. Снизу на мембрану действует давление, равное давлению паров хладона, выходящих из испарителя. Если температура паров хладона на выходе из испарителя (в точке IV) станет несколько выше установленного значения, а это происходит тогда, когда кипение хладона заканчивается в точке II, то давление, создаваемое в термопатроне и в пространстве над мембраной, окажется выше, чем давление под мембраной. В результате этого мембрана 3 прогнется вниз, надавит на стержень клапана 5, который, преодолевая силу пружины 6, откроет клапан 8. Поступление хладона в испаритель увеличится.

Чем выше температура паров хладона на выходе из испарителя, тем больше прогиб мембраны вниз, больше открывается клапан, больше хладона поступает в испаритель. Когда достигается необходимое заполнение испарителя хладоном, температура его паров на выходе из испарителя оказывается на уровне заданного режима.

Дальнейшее повышение давления в термопатроне и в камере над мембраной прекращается, и клапан опускаться дальше не будет. Так происходит до тех пор, пока перегрев паров хладона не достигнет заданного значения.

При снижении тепловой нагрузки испарение хладона будет заканчиваться в точке III. Перегрев паров хладона уменьшится, в результате чего снизится давление в термопатроне и в камере над мем-

браной. Оно оказывается ниже давления в камере под мембраной. В этом случае клапан поднимается вверх и подача хладона уменьшится. Если клапан полностью закроется, подача хладона в испаритель прекратится. Так работает терморегулирующий вентиль при правильной его регулировке.

На заданный перегрев его регулируют, изменяя натяжение пружины 6, регулировочным винтом 4. Регулировку выполняют только на холодном терморегуляторе. Вращая винт по часовой стрелке, сжимают пружину и тем самым уменьшают поступление хладона в испаритель, а следовательно, повышают перегрев паров хладона. При вращении винта против часовой стрелки ослабляют пружину, при этом поступление жидкого хладона в испаритель увеличивается, перегрев паров хладона понижается.

Для охлаждения молока на животноводческих фермах применяют молочные емкости. В зависимости от назначения и устройства резервуара холодильные установки могут быть вмонтированы в корпус и составлять с ним одно целое, или установлены вне емкости. В танках типа РНО-1,6, РНО-2,5 и ТОМ-2А холодильная установка встроена. В других случаях при охлаждении молока в пластинчатых противоточных охладителях молока АДМ-13000 и резервуарах-охладителях молока типа РПО-1,6, РПО-2,5 и других используют холодильные установки, которые соединены с аккумуляторами холода, где накапливается хладонотеплоноситель.

Хладонотеплоносителем называют вещество, которое отбирает теплоту от одной части холодильной установки и отдает ее другой, не меняя при этом своего агрегатного состояния. Так, для передачи холода на небольшие расстояния, например от холодильной машины к пластинчатому противоточному охладителю АДМ-13000, входящему в комплект доильных установок АДМ-8, «Елочка», «Тандем», «Карусель», или к молочному танку типа РПО применяют воду или водные растворы солей. Воду используют в тех случаях, когда температура охлаждения продукта не должна быть ниже 4–2 °С (например, при охлаждении молока).

В тех случаях, когда необходимо продукт (мясо, битую птицу, рыбу и т. п.) охладить до температуры ниже нуля, в качестве хладонотеплоносителей применяют водные растворы поваренной соли (NaCl) или хлористого кальция (CaCl₂). При растворении в воде этих солей можно получить рассолы с достаточно низкой температурой замерзания (табл. 1).

Из таблицы видно, что, добавив в 100 л воды 30,4 кг поваренной соли или 42,7 кг хлористого кальция, получим самую низкую температуру замерзания раствора. Дальнейшее повышение концентрации раствора вызывает не снижение, а повышение температуры замерзания.

Зависимость температуры замерзания хладоносителя
от концентрации солей

Хлористый натрий		Хлористый кальций	
Содержание соли на 100 кг воды, кг	Температура замерзания раствора, °С	Содержание соли на 100 кг воды, кг	Температура замерзания раствора, °С
0,1	0	0,1	0
7,5	- 4,4	13,0	- 7,1
15,7	- 9,8	28,0	- 21,2
25,0	- 16,6	31,2	- 25,7
26,9	- 18,2	32,9	- 28,3
29,0	- 20	34,6	- 31,2
30,1	- 21,2	42,7	- 55
31,1	- 17,2	45,7	- 41,6

Раствор поваренной соли применяют при охлаждении не ниже $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, так как при более низких температурах сильно увеличивается вязкость раствора хладоносителя и увеличивается расход энергии на его перекачивание. В системах, где требуется охладить до температуры ниже $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, применяют раствор хлористого кальция.

В случае отравления хладоном пострадавший должен быть выведен на свежий воздух или в чистое теплое помещение. При этом рекомендуется освободить пострадавшего от стесняющей дыхание одежды и дать ему возможность согреться. Затем пострадавший должен выпить крепкий сладкий чай или кофе, после чего в течение 30–45 мин вдыхать кислород.

При раздражениях слизистой оболочки рекомендуется прополоскать нос и горло водой или 2 %-м раствором соды. При попадании хладона в глаза необходимо обильно промыть их струей чистой воды. До прихода врача следует надеть темные защитные очки.

Если попавший на кожу хладон вызвал обмороживание, следует окунуть пораженное место на 5–10 мин в теплую воду ($35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$) или сделать общую ванну. После осторожного высушивания кожи нужно наложить на нее мазь и повязку или просто смазать поврежденную поверхность.

Для первой доврачебной помощи используют нашатырный спирт, двууглекислую соду, валериановые капли, пенициллиновую мазь, салфетки, вату, стерильные бинты, баллон с медицинским кислородом, темные защитные очки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков принцип работы хладоновых холодильных машин?
2. Каково назначение компрессора, конденсатора, ресивера, фильтра-осушителя, теплообменника, испарителя?
3. В чем состоит назначение, устройство и принцип работы реле давления?
4. Каково назначение терморегулирующего вентиля, как он устроен и работает?
5. Как осуществляется регулирование заданного температурного режима в охлаждаемом объекте?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтерев, Г.П. Технологии и средства механизации животноводства / Г.П. Дегтерев. – М.: Столичная ярмарка, 2010. – 384 с.
2. Оборудование для доения коров и первичной обработки молока / И.Я. Федоренко, А.В. Борисов, А.Н. Матвеев, А.А. Смышляев; Алт. гос. аграр. ун-т. – Барнаул, 2005. – 236 с.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Методические указания для лабораторно-практических работ

**Долбаненко Владимир Михайлович
Семёнов Александр Викторович**

Редактор М.М. Ионина

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.
Подписано в печать 08.02.2018. Формат 60x90/16. Бумага тип. № 1.
Печать – ризограф. Усл. печ. л. 1,0 п. л. Тираж 60 экз. Заказ № 22
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117