

Тема 4. ИСТОЧНИКИ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

Структурная схема холодоснабжения может быть представлена в виде трех основных элементов: генератора – источника холода; холодопроводов, передающих холод от генератора к потребителю; потребителя – стока холода.

Классификацию холодоснабжения производят по трем следующим признакам:

1. По способу производства холода:

- использование природных источников холода;
- использование искусственных источников холода;
- испарительное охлаждение;
- комбинированные схемы охлаждения.

2. По способу связи источника и потребителя:

- централизованное холодоснабжение;
- местное холодоснабжение.

3. По способу использования холода:

- непосредственное использование холода от рабочей среды источника;
- применение промежуточного холодоносителя.

Выбор источника холода должен быть обоснован возможностью получения требуемых параметров, местными условиями, техническими средствами и экономическим расчетом. Окончательный выбор производится на основании технико-экономического сравнения вариантов.

4.1. Естественные источники холода

Естественные источники холода имеют ограниченный природными условиями температурный потенциал. Он подвержен колебаниям, не поддается управлению, действие его в большинстве случаев ограничено узкими временными рамками и к тому же в отдельных случаях не совпадающими по времени с потребностью в холоде. В качестве естественных источников холода можно применять артезианскую воду, воду холодных рек и озер, лёд, а также воду, охлаждаемую наружным воздухом.

Артезианская вода. Возможность использования артезианской и грунтовой воды определяется водоносностью почвенных горизонтов, температурой воды, её химическим и бактериальным составом, жёсткостью и др. Подземные воды, используемые в кондиционерах с непосредственным контактом между водой и воздухом, должны удовлетворять требованиям,

предъявляемым к воде питьевого качества. Во избежание отложения солей в трубках теплообменных аппаратов временная жесткость воды не должна превышать 10 мг·экв/л.

С целью уменьшения расхода артезианской воды в установке кондиционирования воздуха ее необходимо использовать в теплообменных аппаратах, обеспечивающих максимально возможный подогрев. Наибольший эффект может быть достигнут в результате применения воздухоохладителей поверхностного типа, в которых вода может нагреваться на 8...10 °С. Поскольку в поверхностном воздухоохладителе нет непосредственного контакта между водой и воздухом, вода необязательно должна быть питьевого качества. Это позволяет использовать грунтовые воды, залегающие на небольшой глубине, воды горных рек, озер и т.п.

Хороших результатов можно достичь путем создания комбинированных схем, где наряду с артезианской водой используются холодильные установки.

В тех случаях, когда располагают небольшим количеством артезианской воды с достаточно низкой температурой, целесообразно применять схему с предварительным охлаждением воздуха, например в первой ступени воздух охлаждается артезианской водой, а во второй ступени водой (или рассолом), охлаждаемой холодильной установкой.

Артезианскую воду, нагретую в первой ступени, целесообразно использовать еще раз, например для охлаждения конденсаторов холодильных машин. Для более полного использования охлаждающей способности артезианской воды её можно направить не непосредственно в конденсаторы, где она может быть нагрета на 4...6 °С, а в промежуточный бак, куда также сливается основная часть воды после конденсаторов. В результате смешения обоих потоков артезианская вода нагревается на 20...25 °С, а вода, поступающая в конденсаторы, охлаждается на 4...6 °С, после чего смесь насосами направляется в конденсаторы.

Если в распоряжении имеется достаточно большое количество артезианской воды, но со сравнительно высокой температурой и допустимой жесткостью, можно применить схему с предварительным охлаждением артезианской воды холодильной машиной.

Лёд. Применение естественного льда, заготавливаемого из водоемов или намораживаемого в буртах в зимнее время, может оказаться целесообразным в районах с коротким жарким летом и холодной зимой.

Прямой контакт между льдом из буртов и водоёмов и воздухом, подаваемым в помещения, не допускается по санитарно-гигиеническим со-

ображениям. Поэтому применяются схемы холодоснабжения, в которых естественным льдом охлаждается вода, циркулирующая через воздухоохладители поверхностного типа. Основными недостатками систем с ледяным охлаждением являются: громоздкость, трудоёмкость заготовки льда, загрязнение льда и т. д.

Для установки кондиционирования воздуха, предназначенной для работы в течение 100 летних дней с мощностью 230 кВт, требуется наморозить в течение зимы бургт объемом 2200 м³, для размещения которого требуется площадка размером 20×60 м. Устройство таких бунтов не всегда возможно как в связи с большой занимаемой площадью, так и по архитектурным соображениям.

Наружный воздух. В летнее время, особенно в районах с сухим и жарким климатом, наружный воздух может быть использован для охлаждения воды, поступающей в воздухоохладители (установки косвенного и комбинированного испарительного охлаждения воздуха). В переходный и зимний периоды холодный воздух может быть использован для ассимиляции внутренних теплоизбытков как путем его непосредственной подачи в увеличенных количествах в кондиционируемые помещения, так и для охлаждения воды, циркулирующей через воздухоохладители кондиционеров. В последнем случае используются градирни, камеры орошения, водовоздушные теплообменники.

4.2. Искусственные источники холода

Общим признаком для искусственных источников холодоснабжения является использование холодильных машин, потребляющих электрическую или тепловую энергию.

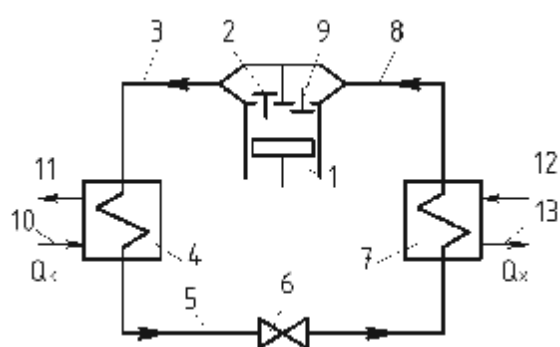
Холодильные машины разделяются по принципу действия:

- парокомпрессорные;
- абсорбционные;
- парожеткторные;
- воздушные;
- термоэлектрические.

4.2.1. Парокомпрессорная холодильная машина

Парокомпрессорные холодильные машины используют энергию механического привода (чаще всего от электродвигателя) для непрерывной

циркуляции рабочей среды по замкнутому контуру через аппараты, в которых последовательно изменяется ее агрегатное состояние. На рис. 4.1 представлена принципиальная схема работы парокомпресорной холодильной машины, включающей в себя компрессор, конденсатор, дросселирующий клапан и испаритель, соединенные между собой трубопроводами. Замкнутая герметичная система машины заполнена рабочей средой – холодильным агентом, который обладает свойством испаряться при низких температурах при давлении, близком к атмосферному.



1 – компрессор; 2 – нагнетательный клапан; 3 – нагнетательный трубопровод; 4 – конденсатор; 5 – трубопровод для подачи жидкого хладагента; 6 – дроссельное устройство; 7 – испаритель; 8 – трубопровод для всасывания газообразного хладагента; 9 – всасывающий клапан; 10, 11 – охлаждающая конденсатор среда соответственно холодная и нагретая; 12, 13 – охлаждаемая испаритель среда соответственно горячая и охлажденная.

Рис. 4.1. Парокомпресорная холодильная машина

Холодильный цикл осуществляется следующим образом. Поршень компрессора 1 сжимает газообразный холодильный агент и с высокими давлением и температурой через нагнетательный клапан 2 подает его в конденсатор 4, представляющий собой теплообменный аппарат, через разделяющие стенки трубок которого отводится теплота от холодильного агента к охлаждающей среде (вода, воздух). Количество отводимой теплоты Q_k должно соответствовать условиям превращения газообразного холодильного агента в жидкое состояние. Жидкий холодильный агент при давлении конденсации p_k поступает к дроссельному устройству 6 (терморегулирующий клапан), где давление холодильного агента снижается до давления испарения p_0 . С этим давлением холодильный агент поступает в испаритель 7 (теплообменник непосредственного испарения холодильного агента), через разделяющие стенки трубок которого должна подводиться теплота от охлаждаемой среды Q_x , обеспечивающая превращение холодильного агента в газообразное состояние. Газообразный холодильный

агент по трубопроводу поступает к всасывающему клапану 9 компрессора, где происходит сжатие паров до давления конденсации p_k .

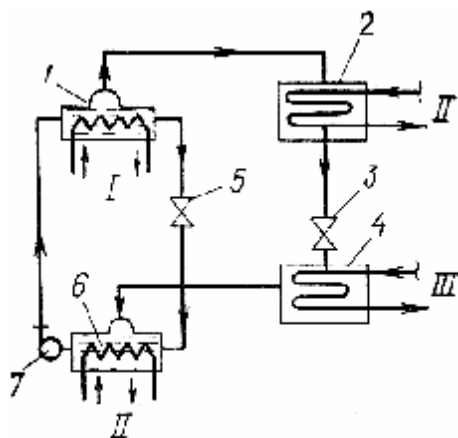
Оценка энергетической эффективности получения холода обычно производится по безразмерному показателю – коэффициенту использования энергии КИЭ, вычисляемому как отношение выработанного холода Q_x к затраченной энергии $\sum N$ на работу аппаратов в составе холодильных машин. Для работы парокомпрессорных холодильных машин затрачивается энергия на привод компрессора N_k , на электродвигатель вентилятора $N_{вен}$, используемого на перемещение воздуха через конденсатор или градирню, и на электродвигатель насоса $N_{нас}$ при водяном охлаждении конденсатора. С учетом этого энергетическая эффективность получения холода при работе парокомпрессорных холодильных машин (показатель КИЭ) вычисляется по формуле

$$\eta_x = \frac{Q_x}{N_k + N_{вен} + N_{нас}}. \quad (4.1)$$

В современных парокомпрессорных холодильных машинах показатель энергетической эффективности составляет 2,5...3,2, что определяет широкое их применение во многих областях народного хозяйства.

4.2.2. Абсорбционная холодильная машина

Абсорбционные холодильные машины (рис. 4.2) используют тепловую энергию для повышения концентрации растворов, служащих холодильным агентом. В качестве рабочей среды в абсорбционных холодильных машинах используется раствор двух веществ. Вещества эти должны значительно отличаться по температуре кипения при одинаковом давлении, а одно из веществ должно обладать способностью достаточно полно поглощать и растворять пары второго вещества. Вещество с более низкой температурой кипения является холодильным агентом, а вещество, поглощающее пары, – абсорбентом. В качестве рабочих сред наибольшее распространение получили две бинарные смеси: аммиак – вода и вода – бромистый литий. Для кондиционирования воздуха обычно применяются бромистолитиевые абсорбционные машины, где вода выполняет роль холодильного агента, а бромистый литий – абсорбента.



I – теплота; II – охлаждающая вода;
III – охлаждаемая вода; 1 – генера-
тор; 2 – конденсатор; 3 – основной
регулирующий вентиль; 4 – испа-
ритель; 5 – второй регулирующий
вентиль; 6 – абсорбер; 7 – насос.

Рис. 4.2. Абсорбционная холодильная машина

В абсорбционных холодильных машинах холодильный цикл осуществляется в следующем порядке. К змеевику в генераторе подводится теплота, которая обеспечивает нагревание раствора до состояния интенсивного выделения из него чистых водяных паров. Образовавшиеся водяные пары поступают в конденсатор, через змеевик которого проходит охлаждающая вода, поступающая после градирни. Отвод теплоты охлаждающей водой обеспечивает конденсацию чистых водяных паров. Конденсация протекает при давлении конденсации p_k , устанавливаемом в зависимости от температуры охлаждающей воды. Образовавшийся водяной конденсат поступает к основному регулирующему вентилю, где происходит дросселирование до давления испарения p_0 , устанавливаемого в соответствии с требуемой температурой охлаждаемой воды. С давлением p_0 водяной конденсат поступает в испаритель, через трубчатый змеевик которого проходит охлаждаемая вода. В межтрубном пространстве испарителя водяной конденсат испаряется. Через стенки трубок змеевика на испарение отводится теплота от охлаждаемой воды. Охлаждённая вода после испарителя холодильной машины поступает в СКВ.

Образовавшиеся в испарителе чистые водяные пары проходят в абсорбер, где находится концентрированный раствор бромистого лития. Над поверхностью крепкого раствора давление водяных паров ниже, чем давление чистых водяных паров, поступающих из испарителя. Вследствие перепада парциальных давлений происходит поглощение (абсорбция) водяных паров крепким раствором и соответственно понижение концентрации бромистого лития в растворе (ослабление раствора). В процессе абсорбции выделяется теплота, которая отводится из абсорбера с водой, проходящей по трубчатому змеевику. В абсорбер непрерывно через второй регули-

рующий клапан поступает крепкий раствор из генератора. Ослабленный и крепкий растворы смешиваются, и образующаяся смесь раствора перекачивается насосом в генератор, к которому подводится теплота. В генераторе происходит непрерывное выпаривание водяных паров из раствора, и образовавшийся крепкий раствор бромистого лития по трубопроводу подается в абсорбер, а чистые водяные пары поступают в конденсатор.

В абсорбционной холодильной машине роль компрессора выполняют генератор и абсорбер. В абсорбер поступают чистые водяные пары из испарителя, что сходно с работой всасывающей стороны компрессора. Насыщенный водой (ослабленный) раствор насосом подается в генератор, где за счет внешней теплоты происходит выпаривание из раствора водяных паров под давлением конденсации, что аналогично работе нагнетательной стороны компрессора. На работу абсорбционной холодильной машины затрачивается теплота в генераторе $Q_{ген}$, расходуется электроэнергия на привод насосов перекачивания раствора $N_{нас.рас}$ и охлаждающей воды $N_{нас}$, на привод вакуумного насоса $N_{нас.вак}$ и на вентилятор градирни $N_{вен}$. С учетом этих величин энергетическая эффективность выработки количества холода в абсорбционной холодильной машине Q_x , кВт, равно- го количеству отводимой теплоты от охлаждаемой воды в испарителе, вычисляется по формуле

$$\eta_x = \frac{Q_x}{Q_{ген} + N_{нас.рас} + N_{нас} + N_{нас.вак} + N_{нас.вен}}. \quad (4.2)$$

В режимах кондиционирования воздуха при использовании в генераторе пара или горячей воды с температурой 160°C в абсорбционных холодильных машинах достигается показатель $\eta_x = 1,65$.

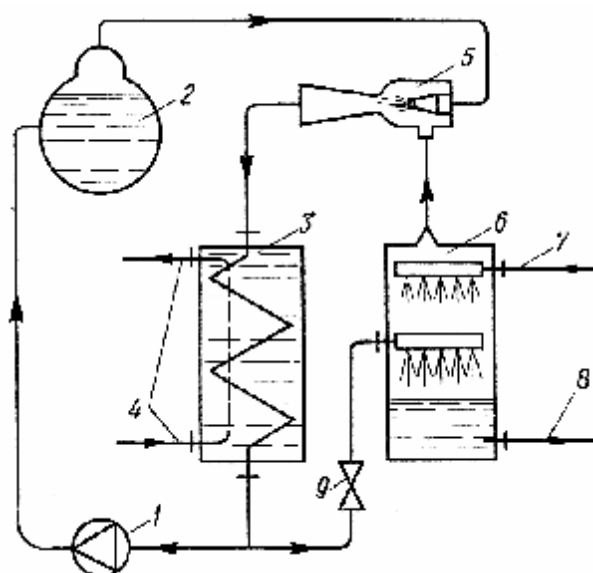
4.2.3. Пароэжекторная холодильная машина

В пароэжекторных холодильных машинах для осуществления рабочего цикла требуется затрата тепловой энергии. В этих машинах одновременно осуществляется два цикла: прямой – с превращением подводимой тепловой энергии в механическую и обратный – с использованием механической энергии для производства холода.

В качестве холодильного агента в эжекторных машинах применяется вода, которая охлаждается за счет частичного перехода в парообразное состояние при глубоком вакууме. Она безвредна, доступна, обладает боль-

шой теплотой парообразования, в испарителях парожеткорных машин кипит при температуре от 2 до 7°С, чему соответствуют абсолютные давления водяных паров от 700 до 1000 Па. При этих давлениях применять поршневые компрессоры или турбокомпрессоры экономически нецелесообразно в связи с большими удельными объемами водяных паров (130...180 м³/кг). Для создания вакуума в испарителе и последующего сжатия отсасываемых паров до давления конденсации применяют эжекторы – пароструйные компрессоры, которые преобразовывают тепловую энергию рабочего пара в механическую энергию движения струи. В парожеткорных машинах вода является и холодильным агентом и холодоносителем.

Принципиальная схема парожеткорной холодильной машины приведена на рис. 4.3.



- 1 – питательный насос;
- 2 – паровой котёл;
- 3 – конденсатор;
- 4 – подача и отвод охлаждающей воды для конденсатора;
- 5 – эжектор;
- 6 – испаритель;
- 7 – подача отеплённой воды из кондиционера;
- 8 – подача охлаждённой воды на кондиционер;
- 9 – регулирующий вентиль.

Рис. 4.3. Парожеткорная холодильная машина

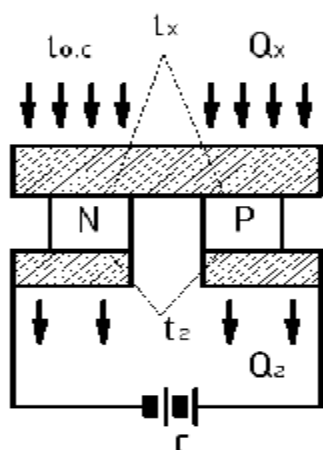
Рабочий пар из котла 2 (либо из другого источника) поступает в сопло эжектора 5, в котором происходит расширение пара от начального давления до давления в испарителе 6. Затем рабочий пар смешивается с холодными парами из испарителя, и в диффузоре эжектора смесь паров сжимается до давления конденсации в результате перехода части кинетической энергии потока в статическую. В конденсаторе 3 пар охлаждается водой и конденсируется. Конденсат частично поступает через, регулирующий вентиль 9 в испаритель 6 и частично перекачивается насосом 1 в котел 2. Охлажденная в испарителе вода подается к потребителям по трубопроводу 8. Отепленная вода, возвращаемая от потребителей, по трубопроводу 7 поступает через разбрызгивающие форсунки в испаритель.

Пароэжекторные машины применяются главным образом для холодоснабжения СКВ, а также для предприятий химической промышленности, потребляющих большое количество холодной воды.

Основным показателем, определяющим эффективность применения пароэжекторных холодильных машин, является расход рабочего пара, отнесенный к холодопроизводительности машины. Этот показатель зависит от начального давления рабочего пара, подаваемого в эжектор, температуры охлажденной воды и температуры охлаждающей воды.

4.2.4. Термоэлектрическая холодильная машина

Термоэлектрические холодильные аппараты потребляют электроэнергию для получения холода. Термоэлектрический метод охлаждения основан на возникновении температурного перепада на спаях при пропускании постоянного тока через цепь из двух разнородных металлов. Техническая реализация метода термоэлектрического охлаждения впервые предложена академиком А. Ф. Иоффе на основе использования в электрической цепи полупроводниковых термоэлементов, собранных в батарею. Конструктивно термоэлектрические батареи выполняются из ряда соединенных в электрическую цепь единичных термоэлементов, каждый из которых включает два полупроводника, образующих горячий и холодный спаи (рис. 4.4).



N, P – полупроводниковая пара; $t_{o.c}$ – температура окружающей среды; t_x – температура холодных спаев; t_2 – температура горячих спаев; C – источник постоянного тока.

Рис.4.4. Принципиальная схема термоэлектрического метода получения холода и тепла

Через термоэлектрические батареи пропускается постоянный ток, и на холодных спаях термоэлементов происходит поглощение теплоты из

воздушного потока, а на горячих спаях выделяется теплота. Эту теплоту нужно отводить, для чего используется наружный или удаляемый воздух, обратное водоснабжение и др. Для интенсификации внешнего теплообмена термоэлементы обычно снабжаются оребрением.

При работе термоэлектрических охладителей потребляется электроэнергия для термобатарей $N_{тер}$, на привод вентилятора $N_{вен}$ и насоса $N_{нас}$ при водяном охлаждении горячих спаев. Показатель КИЭ для термоэлектрических охладителей вычисляется по формуле

$$\eta_x = \frac{Q_x}{N_{тер} + N_{вен} + N_{нас}}. \quad (4.3)$$

На существующих полупроводниковых материалах в обычных режимах кондиционирования воздуха достигается показатель $\eta_x = 1 \div 1,6$.

4.2.5. Воздушная холодильная машина

Воздушные холодильные машины потребляют энергию на привод компрессора для сжатия воздуха, который используется в качестве рабочего вещества, что позволяет направлять охлажденный воздух непосредственно в обслуживаемое помещение. В технике кондиционирования воздуха используются два конструктивных решения для получения воздуха в качестве холодильного агента: вихревые трубы и турбодетандеры.

В вихревой трубе происходит вихревой эффект температурного разделения воздуха (рис. 4.5).

Сжатый воздух с начальной температурой, как правило, близкой к окружающей, поступает через сопло и тангенциально входит в улитку. В трубе воздух совершает сложное вращательное движение и у стенок трубы образуется зона повышенного давления, где воздух имеет более высокую температуру по сравнению с начальной, а по оси трубы образуется зона пониженного давления с воздухом более низкой температуры, чем начальная. Нагретый воздух выходит через периферийное отверстие, открываемое дроссельным вентилем, а холодный воздух выходит через центральное отверстие в диафрагме. Полезно может использоваться как нагретый, так и охлажденный воздух, поступающий после вихревой трубы.

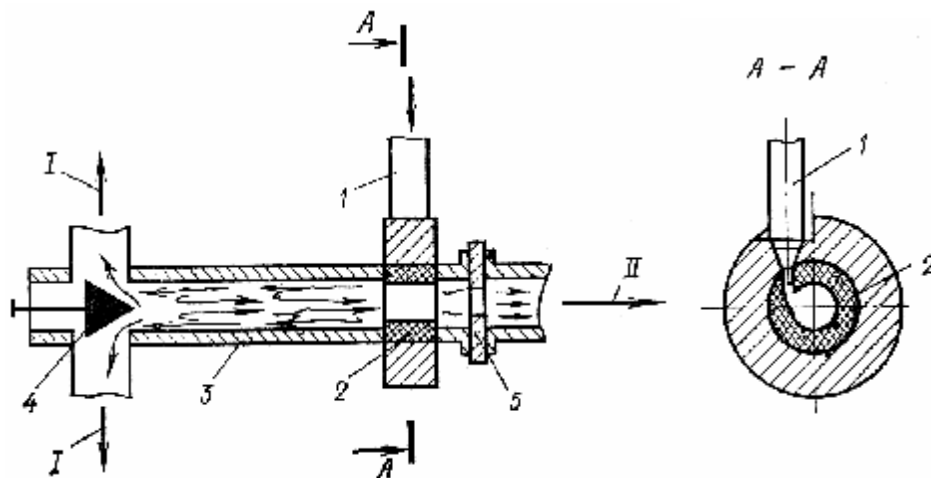


Рис. 4.5. Вихревая труба

I – тёплый воздух; II – охлаждённый воздух; 1 – сопло для подвода сжатого воздуха; 2 – улитка, дающая направление вращению воздуха; 3 – труба, в которой воздух совершает вращательное движение; 4 – дроссель-клапан для выхода нагретого воздуха; 5 – диафрагма с центральным отверстием для выхода холодного воздуха.

Холодильный процесс в вихревой трубе требует большого расхода электроэнергии. Достоинства этого метода охлаждения – конструктивная простота вихревой трубы, надежность работы и быстрота пуска. Применение его целесообразно в отдельных случаях для эпизодического кратковременного получения холода в малых количествах, особенно при наличии сети пневматических трубопроводов.

В турбохолодильных машинах (рис. 4.6, а) используется принцип расширения сжатого воздуха и сопутствующего этому процессу его охлаждения. Наружный воздух (или смесь с рециркуляционным) из обслуживаемого помещения поступает на сжатие в турбокомпрессор 1. Нагретый в процессе сжатия воздух далее охлаждается в теплообменнике 2, в котором проходит охлаждающая среда 3. После охлаждения сжатый воздух подводится к турбодетандеру 4, где он расширяется со снижением давления и энтальпии. Через вал 5 вращение передаётся на рабочее колесо вспомогательного вентилятора 6. Если в турбодетандере происходит расширение влажного воздуха, то при его охлаждении образуется мелкодисперсная влага, которая выносится потоком воздуха и улавливается сепаратором 7. Охлаждённый и осушенный воздух после сепаратора по приточным воздуховодам подаётся в обслуживаемое помещение.

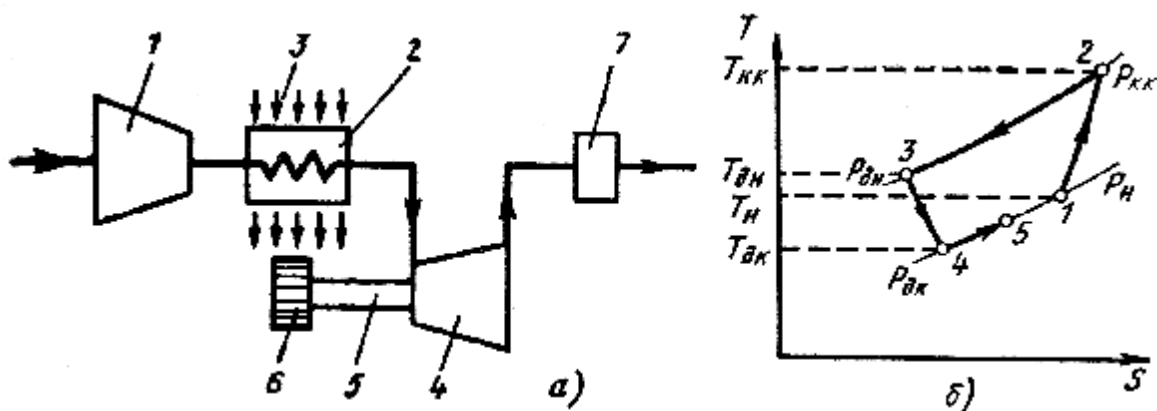


Рис. 4.6. Принципиальная схема воздушной турбохолодильной машины (а) и изображение ее цикла (б)

1 – турбокомпрессор; 2 – теплообменник; 3 – охлаждающая среда; 4 – турбодетандер; 5 – вал; 6 – вспомогательный вентилятор; 7 – сепаратор.

Изображение раздельного цикла турбохолодильной машины в T - s диаграмме представлено на рис. 4.6,б. Точка 1 на диаграмме соответствует параметрам воздуха перед турбокомпрессором (P_n ; T_n). В процессе сжатия давление и температура воздуха повышается до $P_{кк}$ и $T_{кк}$ (точка 2). Сжатый горячий воздух охлаждается в теплообменнике до давления $P_{дн}$ и температуры $T_{дн}$ (точка 3), с которыми поступает в турбодетандер. При расширении воздуха в турбодетандере понижается его давление до $P_{дк}$ и температура $T_{дк}$ (точка 4); охлажденный воздух подается в обслуживаемое помещение. Предварительно воздух можно подогревать, подмешивая наружный или рециркуляционный воздух. Отрезок 4-5 на диаграмме соответствует процессу восприятия избытков теплоты и влаги приточным воздухом в кондиционируемом помещении. Из рис. 4.6,б видно, что цикл турбохолодильной машины в режиме кондиционирования получается разомкнутым, так как для сжатия в турбокомпрессоре поступает воздух с более высокой температурой (точка 1), чем это характерно для температуры в кондиционируемом помещении (точка 5).

Вихревые трубы и турбодетандеры нашли применение для обслуживания небольших объемов.

Энергетическая эффективность получения холода в воздушных холодильных машинах значительно ниже, чем в парокомпрессионных и абсорбционных холодильных машинах. Это является одной из причин, почему методы получения холода в воздушных холодильных машинах для СКВ применяются только в ограниченных случаях.

4.3. Испарительное охлаждение

4.3.1. Испарительное охлаждение воды

В системах кондиционирования воздуха наибольшее распространение получил метод испарительного охлаждения воды в контактных аппаратах – градирнях, которые могут быть трёх видов: открытые, башенные и вентиляторные.

В открытых градирнях движение воздуха у поверхности воды обеспечивается силой ветра. Эти градирни характеризуются малой интенсивностью испарительного охлаждения воды и требуют значительной площади для размещения. В башенных градирнях движение воздуха создаётся с помощью высокой вытяжной башни, являющейся корпусом аппарата. В вентиляторных градирнях движение воздуха обеспечивается встроенными в них осевыми или центробежными вентиляторами. Градирни этого типа имеют небольшие размеры, обеспечивают высокую интенсивность испарительного охлаждения и поэтому получили наибольшее распространение в СКВ (рис. 4.7). Для развития площади поверхности контакта между охлаждаемой водой и потоком воздуха в вентиляторных градирнях используются орошаемые слои, собираемые из гофрированных пластмассовых листов и сотовых блоков.

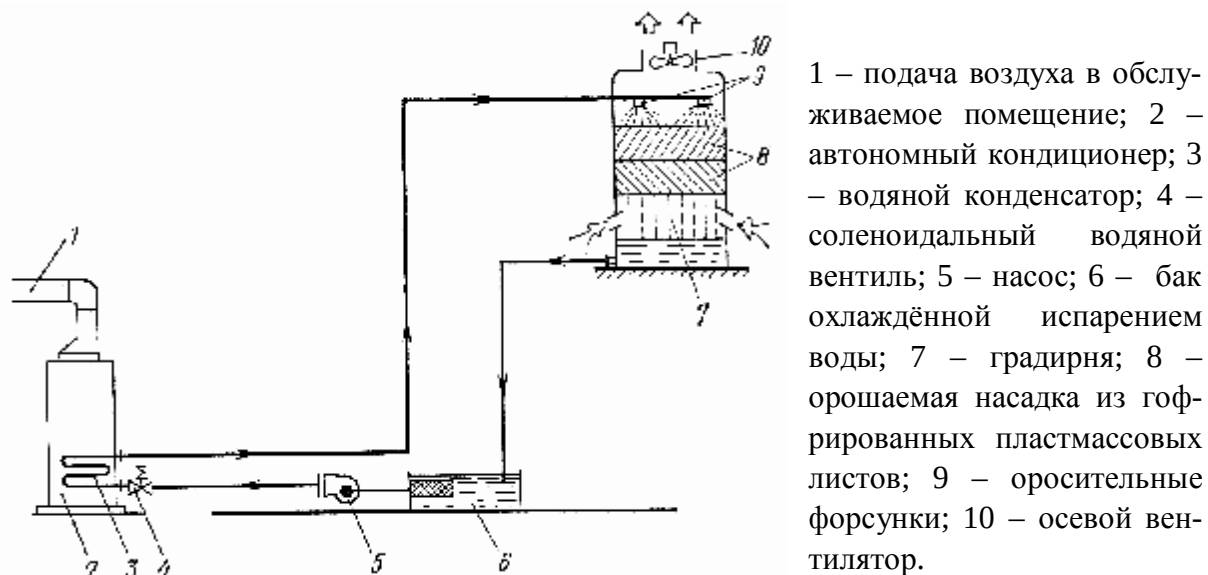


Рис. 4.7. Схема оборотного водоснабжения конденсатора холодильной машины автономного кондиционера

4.3.2. Испарительное охлаждение воздуха

Испарительное охлаждение воздуха получило широкое распространение в системах кондиционирования воздуха

Испарительное охлаждение воздуха бывает:

- прямое;
- косвенное;
- комбинированное.

При *прямом испарительном охлаждении* наружный воздух, вступая в контакт с капельками воды в камере орошения, отдаёт явную теплоту и снижает свою температуру. Охлаждение производится при постоянной температуре по мокрому термометру (изоэнтальпийное увлажнение). Таким способом при увеличенной подаче воздуха можно получить удовлетворительную температуру в помещении, хотя и при повышенной относительной влажности. Чтобы исключить увеличение относительной влажности, установки испарительного охлаждения работают без рециркуляции воздуха. Энергетическая эффективность прямого испарительного охлаждения определяется количеством явной теплоты $Q_{явн}$, отводимой от воздуха на испарение воды, и затратами электроэнергии на перемещение воздушного потока $N_{вен}$ и на работу насоса $N_{нас}$, обеспечивающего рециркуляцию воды в камере орошения. Показатель коэффициента использования энергии для прямого испарительного охлаждения в условиях сухого и жаркого климата:

$$\eta_x = \frac{Q_{явн}}{N_{вен} + N_{нас}} = 15 \div 24. \quad (4.4)$$

Метод *косвенного испарительного охлаждения* характеризуется отводом теплоты от охлаждаемого воздуха через стенку к воде, охлаждаемой испарением во вспомогательном потоке воздуха. Различают методы раздельного и совмещённого косвенного испарительного охлаждения.

При *раздельном косвенном испарительном охлаждении* вода охлаждается в градирне и подается в поверхностный теплообменник. Со стороны оребрения теплообменника вентилятором подается кондиционируемый воздух, который отдает теплоту на нагревание воды. Испарительное охлаждение подогретой воды осуществляется в отдельном контактном аппарате (градирне), через который обычно проходит наружный воздух. Энергетическая эффективность процессов косвенного испарительного ох-

лаждения определяется количеством явной теплоты $Q_{явн}$, отводимой от воздуха в поверхностном теплообменнике, и затратами электроэнергии на привод вентиляторов $N_{вен}$, насосов $N_{нас}$ и на работу градирни $N_{гр}$. Показатель КИЭ для косвенного испарительного охлаждения вычисляется по формуле:

$$\eta_x = \frac{Q_{явн}}{N_{вен} + N_{нас} + N_{гр}} = 5 \div 8. \quad (4.5)$$

Совмещенное косвенное испарительное охлаждение осуществляется в аппаратах, в которых конструктивно объединены поверхностный теплообменник и градирня. Эти аппараты называют теплообменниками косвенного испарительного охлаждения, и они могут быть с насосной и с безнасосной подачей воды. Энергетическая эффективность охлаждения оценивается по формуле (4.5) и лежит в пределах $\eta_x = 6 \div 10$.

Рациональным по технико-экономическим показателям представилось создание комбинированных систем обработки основного потока воздуха на основе применения косвенного и прямого испарительного охлаждения. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха двухступенчатого испарительного охлаждения представлена на рис. 4.8.

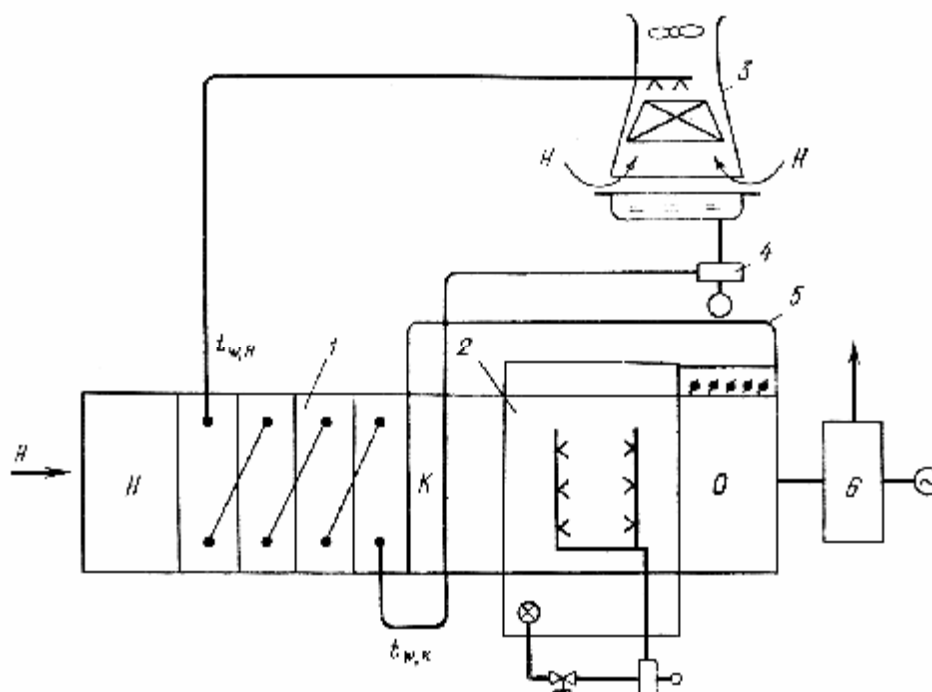


Рис. 4.8. Схема СКВ двухступенчатого испарительного охлаждения
1 – поверхностный воздухоохладитель; 2 – оросительная камера; 3 – градирня; 4 – насос; 5 – байпас с воздушным клапаном; 6 – вентилятор.

Установка двухступенчатого испарительного охлаждения состоит из кондиционера и градирни. В кондиционере производится косвенное и прямое изоэнтальпийное охлаждение воздуха обслуживаемых помещений. В градирне происходит испарительное охлаждение воды, питающей поверхностный воздухоохладитель кондиционера. Наружный воздух поступает в кондиционер и на первой ступени охлаждения – в поверхностном воздухоохладителе охлаждается при неизменном влагосодержании. Второй ступенью охлаждения является оросительная камера, работающая в режиме изоэнтальпийного охлаждения. Охлаждение воды, питающей поверхностный воздухоохладитель, производится в градирне. Вода в этом контуре циркулирует с помощью насоса. Камера орошения кондиционера оснащается байпасным каналом с воздушным клапаном или имеет регулируемый процесс, что обеспечивает регулирование параметров воздуха, направляемого в обслуживаемое помещение вентилятором.