

Лекция 13

Дополнительные материалы по данной тематике
можно найти в учебном пособии

В.А. Бройда «Системы кондиционирования воздуха,
использующие чиллеры и фэнкойлы», Казань, 2009

Источники холода для СКВ.

Источники холода для СКВ: природные и искусственные.
К ним относятся: артезианская вода, буртовый лед, ночная прохлада.

Артезианская вода

Артезианская вода в течение года сохраняет свою приблизительно постоянную относительно низкую температуру и может использоваться как источник холода для КВ, если имеет подходящий химический состав (не слишком агрессивна). Как правило, ее требуется очищать от механических примесей в фильтрах. Из-за ограниченной разности температуры рекомендуется ее подключать к теплообменникам по противоточной схеме. В контактных аппаратах ее можно применять, если она питьевого качества. Основным недостатком артезианской воды как источника холода – в наиболее жаркие периоды, когда велика потребность в холодной воде, понижается уровень грунтовых вод и наблюдается дефицит артезианской воды.

Буртовый лёд

В средней полосе России за зиму легко намораживается 3-х метровый слой льда. Лед укрывают матами и засыпают слоем опилок. Такой бурт льда может сохраняться продолжительный период. Лед закладывается в бункер на решетку и орошается водой. В результате в бункере накапливается талая вода с низкой температурой, близкой к температуре таяния.

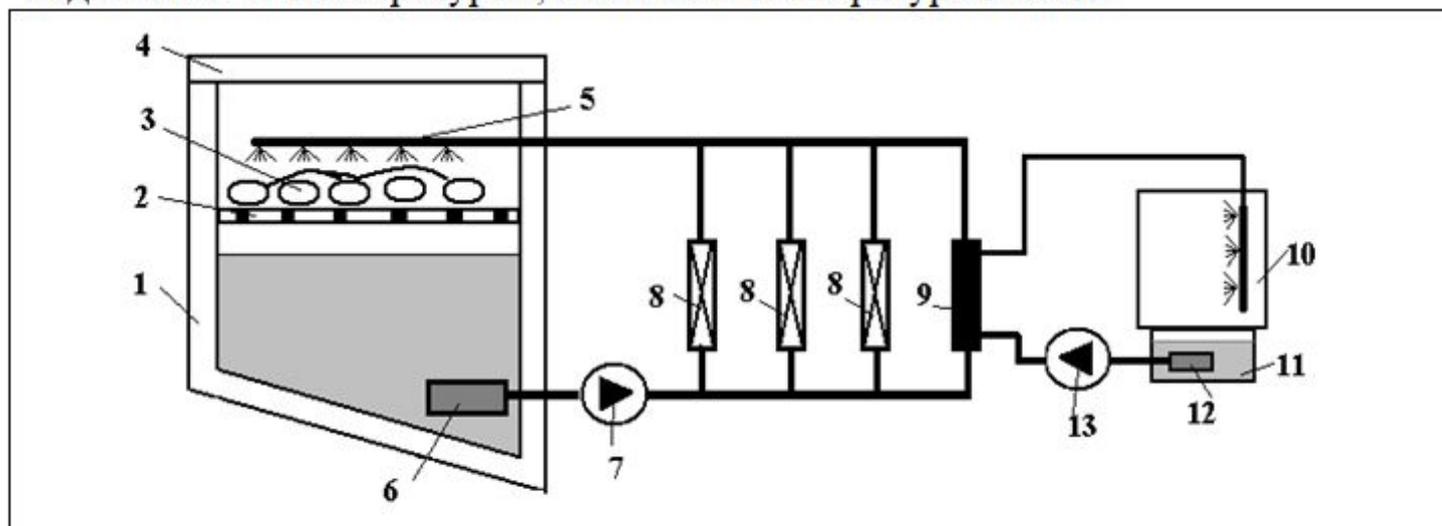


Рис. Схема использования буртового льда:

1 – корпус бункера; 2 – решетка; 3 – куски льда; 4 – крышка бункера; 5 – оросительная система; 6, 12 – сетчатый фильтр; 7, 13 – циркуляционный насос; 8 – теплообменник вода/воздух; 9 – теплообменник вода/вода; 10 – камера орошения; 11 – поддон

Такую воду можно использовать только в теплообменниках и нельзя по гигиеническим условиям непосредственно использовать в контактных аппаратах, например, в КО. Для контактных аппаратов устраивается промежуточный контур циркуляции с водой питьевого качества (с теплообменником 9 и циркуляционным насосом 13).

Ночная прохлада

Во многих регионах, особенно с резким континентальным климатом, наблюдается большая суточная разность температур наружного воздуха. Можно за счет холодного ночного воздуха охлаждать массивную теплоинерционную насадку из бутового камня, бетонных блоков и т.д. Продувая дневной теплый наружный воздух через охлажденную насадку, можно существенно понизить его температуру и использовать для целей КВ. Такие аккумуляторы холода достаточно громоздки, но стоимость холода невелика. Можно несколько уменьшить массу насадки применяя эффект фазового превращения. Так вещества группы бертолетовой соли, при понижении температуры изменяют свою структуру и при этом выделяют некоторое количество тепла. При повышении температуры происходит обратное, вещество активной насадки отбирает некоторое количество тепла от обдуваемого воздуха. Аккумулятор холода с активной насадкой имеет меньшую массу, меньший объем, но материал насадки несколько дороже.

Искусственные источники холода

Их достаточно много, но в технике КВ в основном используются парокompрессионные холодильные машины (ПКХМ), реже абсорбционные холодильные машины (АХМ), преимущественно бромистолитиевые (АБХМ).

Рабочие вещества (хладагенты) для ПКХМ

Для выработки холода используется рабочее вещество – хладагент, который должен отвечать ряду требований:

- быть безвредным для человека, взрывобезопасным, негорючим;
- иметь умеренное давление конденсации, в противном случае потребуются очень прочные элементы машины в зоне действия высокого давления;

- иметь давление испарения не ниже атмосферного при температуре 2–8 °С, типичной для КВ, (в противном случае в контур машины может подсасываться воздух), обладать высокой удельной теплотой испарения;

- быть инертным к материалу машины, иметь высокую теплопроводность, малую вязкость, хорошо растворять масло, циркулирующее в машине;

- быть экологически безвредным.

Всеми названными качествами не обладает ни один хладагент. Так, аммиак (NH_3 , хладагент R717) имеет хорошие термодинамические свойства, высокую удельную теплоту испарения, относительно небольшое давление конденсации, давление кипения, близкое к атмосферному. Но аммиак токсичен, пожароопасен, взаимодействует с цветными металлами.

Большинству названных требований отвечают фреоны – углеводороды, в которых атомы водорода частично или полностью заменены атомами фтора или хлора.

Хладагенты обозначаются буквой R (от слова Refrigerant – охлаждающее вещество, англ.) и соответствующей цифровой и буквенной комбинацией.

Для целей КВ широко применяется R22, эффективный хладагент, обладающий хорошими энергетическими свойствами, высокой удельной объемной холодопроизводительностью, нейтральный к материалам машин, хорошо растворимый в минеральных смазочных маслах, имеющий, как и большинство фреонов, высокую текучесть.

Фреоны для человека безвредны, но опасны тем, что, имея большую плотность, при значительной утечке могут вытеснить воздух и создать бескислородную среду, поэтому для них имеются аварийные концентрации.

Воздействие фреонов на окружающую среду оценивается: потенциалом разрушения озонового слоя (Ozone Depletion Potential) – ODP и потенциалом глобального потепления (Global Warming Potential) – GWP.

ODP показывает, во сколько раз данный фреон менее опасен по эффекту разрушения озонового слоя, по сравнению с фреоном R11.

GWP показывает, насколько конкретный фреон вреден по вкладу в глобальное потепление по сравнению с CO₂.

По воздействию на озоновый слой наиболее вредными фреонами являются хлорфторуглероды (ХФУ), (CFC), (например – R12);

– менее вредными гидрохлорфторуглероды (ГХФУ), (HCFC), (например – R22);

– безвредным – гидрофторуглероды (ГФУ), (HFC), (например – R134a). Иногда, например, R134a обозначается как HFC 134a.

Некоторые свойства фреонов

Фреон	ODP	GWP	Аварийная концентрация, г/м ³ *
R12	0,9	8500	360
R22	0,05	1700	300
R134a	0	1300	250
R407C	0	1600	310
R410A	0	1890	440

Искусственные источники холода для СКВ.

Основные элементы и цикл ПКХМ, ее основные характеристики

Основные элементы ПКХМ: компрессор, конденсатор, испаритель, дросселирующее устройство (регулятор потока).

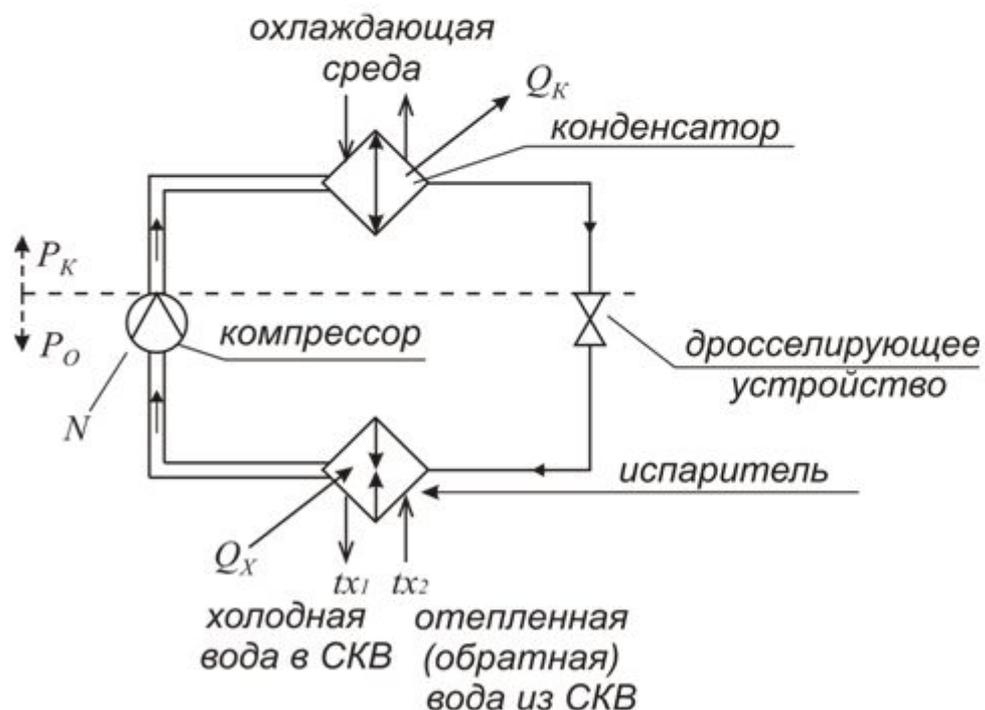


Рис. Схема ПКХМ

Цикл ПКХМ представляют на $\lg(P) - i$ -диаграмме рабочего вещества.



$\lg(P) - i$ -диаграмма хладагента

Основные линии диаграммы:

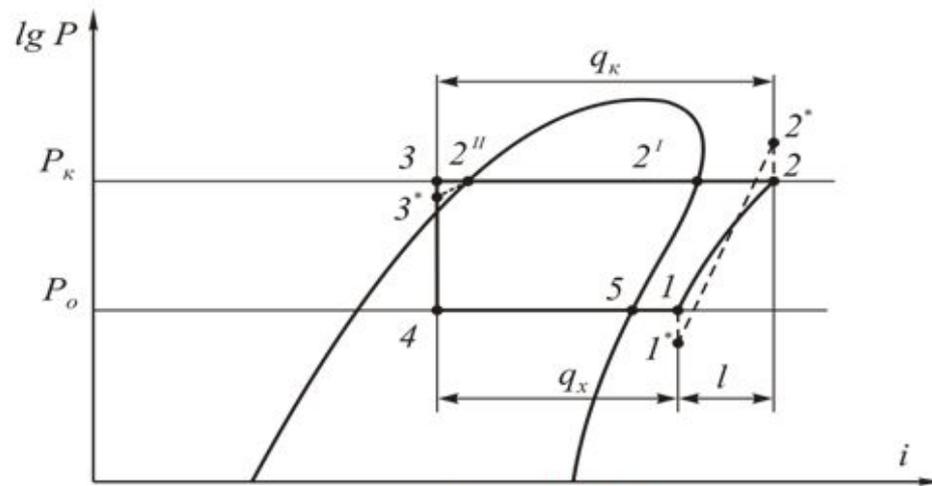
- горизонтальные линии $P = const.$, кПа, МПа;
- вертикальные линии $i = const.$, кДж/кг.

На поле диаграммы наносятся линии постоянной удельной энтропии $s = const.$, кДж/(кг·К), и постоянного удельного объема $v = const.$, (м³/кг).

Пограничная линия отделяет области:

- область жидкого состояния находится справа от нее;
- область влажного пара находится внутри пограничной линии;
- слева от пограничной линии располагается область сухого газа.

В области влажного пара изотермы $t = const.$ большинства хладагентов проходят горизонтально, совпадают по направлению с изобарами; в области жидкости изотермы – это вертикальные линии, обычно их не изображают; в области сухого газа – опускающиеся кривые.



Цикл ПКХМ

В компрессоре газообразный хладагент сжимается (процесс 1-2) от давления испарения P_0 до давления конденсации P_k , – процесс близок к адиабатическому, протекает при энтропии $s_{сж} \approx \text{const}$.

Отношение $\pi = P_k / P_0$ называется степенью сжатия. Для КВ достаточна $\pi = 3 \div 5$, которая достигается в одноступенчатых компрессорах.

Затем газообразный хладагент поступает в конденсатор, в котором при P_k происходят процессы:

- охлаждение газообразного хладагента 2 - 2';
- конденсация 2' - 2'', протекает при постоянной температуре конденсации t_k в области влажного пара;
- переохлаждение жидкого хладагента 2''- 3.

Из конденсатора выходит жидкий хладагент с температурой переохлаждения t_n (точка 3) ниже температуры конденсации t_k .

Далее жидкий хладагент проходит дросселирующее устройство – процесс 3-4, в котором снижает давление от P_k до P_0 . Процесс протекает при $i_{др} \approx \text{const}$. Дросселирование начинается при жидком состоянии хладагента, а заканчивается в области влажного пара.

В испарителе при низком P_0 и температуре испарения t_0 хладагент испаряется за счет тепла, отбираемого от охлаждаемой среды – превращается в газ, процесс 4-5, и затем еще немного нагревается в газообразном состоянии – перегрев 5-1 до температуры всасывания t_{BC} – точка 1.

Перегрев газа от t_0 до t_{BC} защищает компрессор от капель жидкого хладагента (обеспечивает «сухой» ход компрессора). Попадание капель в компрессор нарушает его работу, приводит к повышенному износу и разрушению.

Выработка холода в расчете на 1 кг хладагента, q_X (кДж/кг):

$$q_X = i_1 - i_4, \quad (1)$$

удельное количество тепла, отводимое в конденсаторе q_K , (кДж/кг):

$$q_K = i_2 - i_3, \quad (2)$$

удельная работа сжатия в компрессоре l , (кДж/кг):

$$l = i_2 - i_1. \quad (3)$$

Выполняется равенство

$$q_k = q_x + l. \quad (4)$$

Эффективность хладагента определяет удельная объемная холодопроизводительность q_v , (кДж/м³):

$$q_v = q_x / v_1. \quad (5)$$

q_v зависит от природы хладагента и от температурных условий цикла. У эффективных хладагентов q_v выше и требуется его меньший объемный расход L_x (м³/с)

$$L_x = Q_x / q_v, \quad (6)$$

следовательно, оборудование меньших размеров.

Холодопроизводительность Q_x (кВт), мощность, затрачиваемая на осуществление цикла N (кВт), теплопроизводительность конденсатора Q_k (кВт) вычисляются по формулам:

$$Q_x = q_x \cdot M; \quad (7)$$

$$N = l \cdot M; \quad (8)$$

$$Q_k = q_k \cdot M, \quad (9)$$

где M - расход хладагента, $M = L_x / v_1$, кг/с.

Эффективность выработки холода в испарителе характеризуется холодильным коэффициентом ε_X (EER):

$$\varepsilon_X = q_X / l. \quad (10)$$

Если полезным результатом работы является тепло, получаемое в конденсаторе, то машина называется тепловым насосом (ТН, Heat Pump, HP).

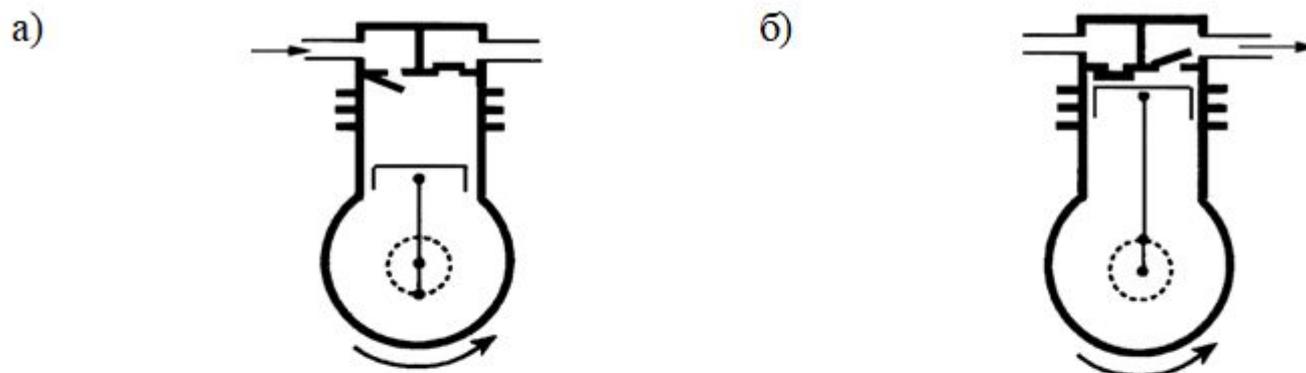
Тепловой коэффициент ε_T (COP):

$$\varepsilon_T = q_K / l = (q_X + l) / l = \varepsilon_X + 1. \quad (11)$$

В обычных условиях работы ПКХМ $\varepsilon_X \approx 2$ следовательно, $\varepsilon_T \approx 4$.
Этим объясняется привлекательность ТН как источника тепла.

С понижением температуры испарения t_0 уменьшаются ε_X и ε_T , падает холодильная и тепловая мощность. Поэтому использование ТН при низкой температуре среды, от которой отнимается тепло, энергетически не выгодно.

Поршневые компрессоры



Поршневой компрессор:

- а – всасывание: поршень идет вниз, всасывающий клапан открыт, нагнетательный закрыт;
б – нагнетание: поршень идет вверх, нагнетательный клапан открыт, всасывающий закрыт

Вращение вала преобразуется кривошипно-шатунным механизмом в возвратно поступательное движение поршня в цилиндре. При движении поршня вниз открывается всасывающий клапан, цилиндр заполняется газом – происходит всасывание; при движении поршня вверх газ сжимается до давления открытия нагнетательного клапана, и газ выталкивается в нагнетательный патрубок. Между поршнем в его верхней точке и клапанной доской остается «мертвый объем», заполненный сжатым газом, который при всасывании расширяется, снижая эффективность компрессора. Потери давления клапанах также снижают эффективность.

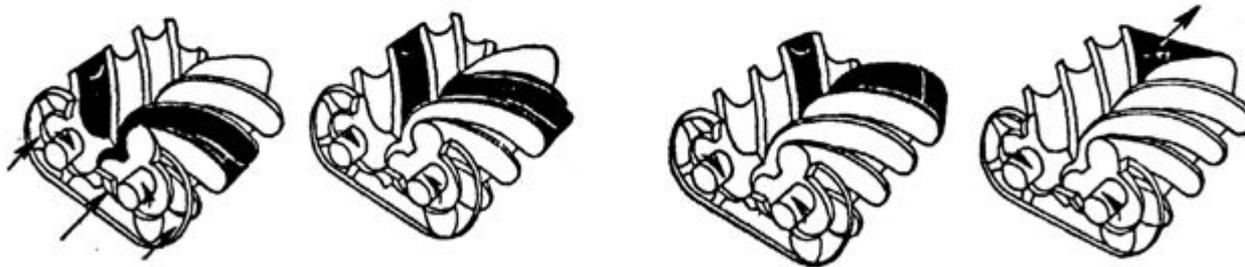
Винтовые (Screw) компрессоры

Существуют двухвинтовые и одновинтовые компрессоры. Двухвинтовой был запатентован шведским инженером А. Лисхольмом в 1934 г.

а)



б)

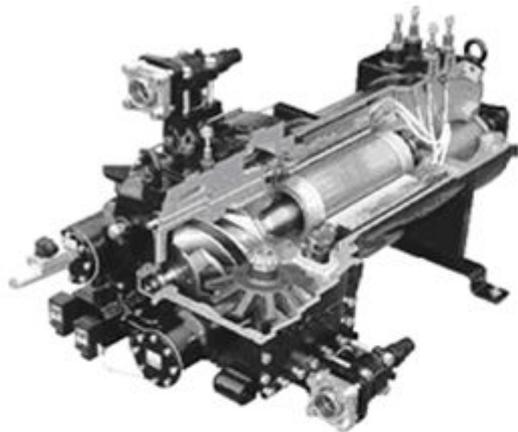


Двухвинтовой компрессор:

а – ведущий и ведомый роторы; б – последовательность работы компрессора: всасывание, сжатие, окончание сжатия, нагнетание

Одновинтовой компрессор разработан в 1960 г. французским инженером Б. Зиммером.

а)

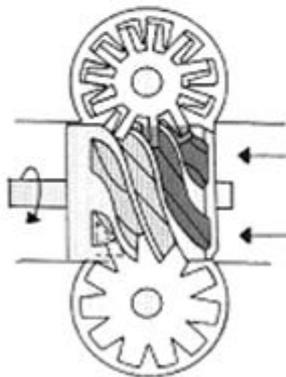


б)

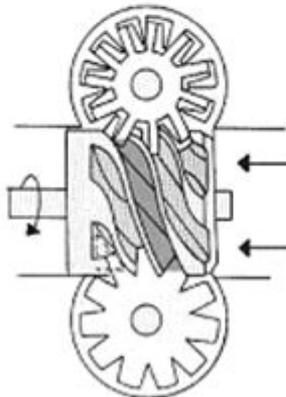


в)

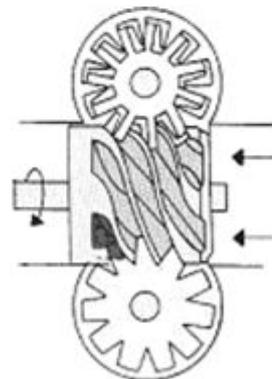
всасывание



сжатие



нагнетание



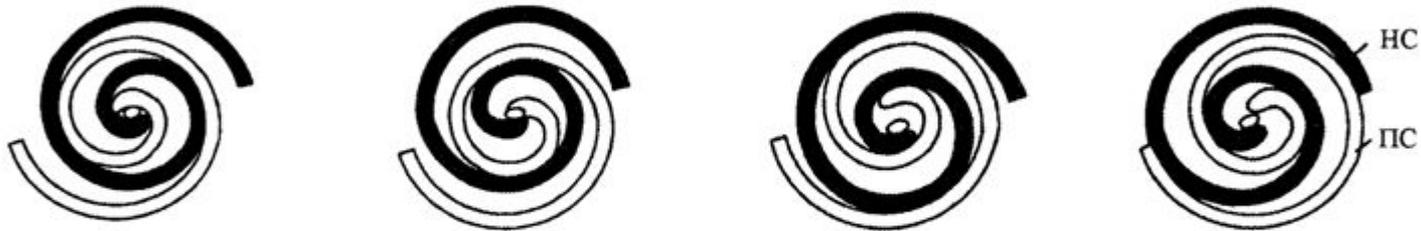
Одновинтовой компрессор:

а – вид компрессора в разрезе; б - ротор и шестерни; в – принцип действия

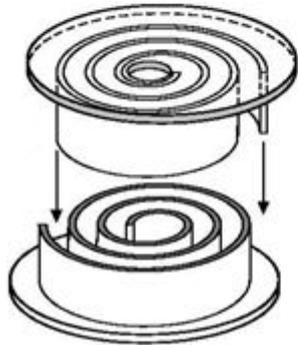
Спиральные (Scroll) компрессоры

Компрессор запатентован французом Л. Круа в 1905 г., но только в 70-е годы начался их выпуск – основные детали требуют очень высокой точности.

а)



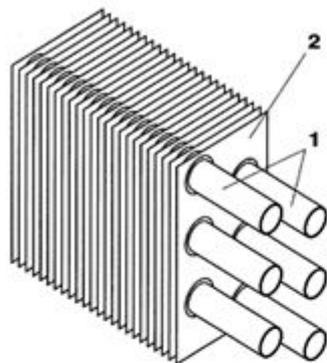
б)



Спиральный
компрессор:

а – положения спиралей на фазах вращения и отделяемые ими полости газа (НС – неподвижная спираль, ПС – подвижная спираль); б – вид подвижной и неподвижной спиралей

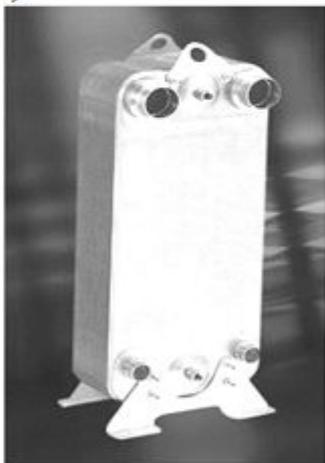
а)



б)



в)



г)



Конденсаторы

а – теплообменник воздушного конденсатора: 1 – трубки, 2 – оребрение;

б – воздушный конденсатор с осевыми вентиляторами; в – водяной пластинчатый

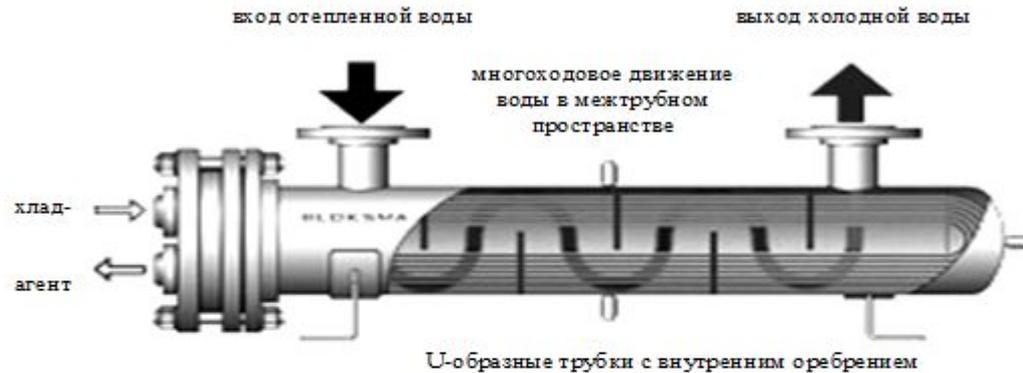
конденсатор; г – кожухотрубный конденсатор: сверху – вход газообразного хладагента,

снизу – выход жидкого хладагента, сбоку – вход и выход охлаждающей воды

Испаритель – теплообменник, в котором при низком давлении испарения P_0 испаряется хладагент и отводится тепло от охлаждаемой среды (вода или воздух).

В качестве воздушных испарителей применяются медно-алюминиевые оребренные теплообменники (система «непосредственного испарения»). При охлаждении воды применяются кожухотрубные и пластинчатые испарители.

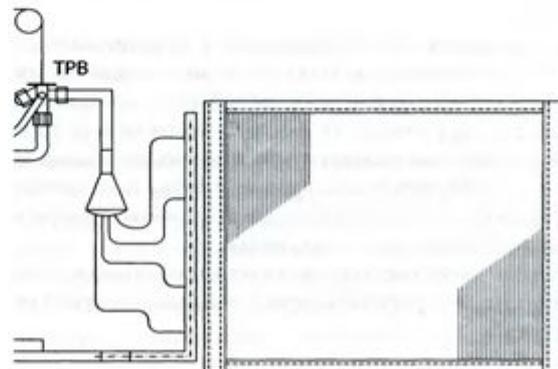
а)



б)



в)



Испарители:

а – кожухотрубный двухходовый испаритель; б – пластинчатые теплообменники-испарители; в – воздушный испаритель для системы с непосредственным испарением

Температурный режим и пересчет холодопроизводительности ПКХМ

Параметры рабочего цикла определяются: температурой испарения t_0 , температурой конденсации t_K , температурой всасывания паров хладагента в компрессор t_{BC} , температурой переохлаждения хладагента t_{II} .

Режим для КВ:

температура испарения $t_0 = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура всасывания $t_{BC} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура конденсации $t_K = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура переохлаждения $t_{II} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$

Для неавтономных СКВ обычно принимаются *рабочие параметры*:

температура испарения $t_0 = t_{W1} - (2 \div 4) \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура конденсации при оборотном водяном охлаждении $t_K = t_{MH} + (10 \div 14) \text{ } ^\circ\text{C}$; обычно принимается $t_{W2} - t_{W1} = 5 \div 6 \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура конденсации при воздушном охлаждении $t_K = t_H + \Delta t_K / 2 + (4 \div 6) \text{ } ^\circ\text{C}$;
перепад температуры воздуха в конденсаторе принимается $\Delta t_K = 6 \div 10 \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура всасывания может быть $t_{BC} = t_0 + (10 \div 15) \text{ } ^\circ\text{C}$;
температура переохлаждения $t_{II} = t_K - (3 \div 5) \text{ } ^\circ\text{C}$.

По заданным температурам t_0 , t_K , t_{BC} и t_{II} на $\lg(P) - i$ - диаграмме хладагента можно построить цикл и рассчитать его характеристики.

Пересчет мощности охлаждения рабочего режима с указанного в каталоге ведется по формуле:

$$Q_X^P = Q_X^K \frac{\lambda^P \cdot qv^P}{\lambda^K \cdot qv^K},$$

где Q_X^K – мощность охлаждения по каталогу, Вт; λ – коэффициент подачи компрессора; qv – удельная объемная холодопроизводительность в точке всасывания, кДж/м^3 ; к, р – индексы, обозначают каталожный или рабочий режим.

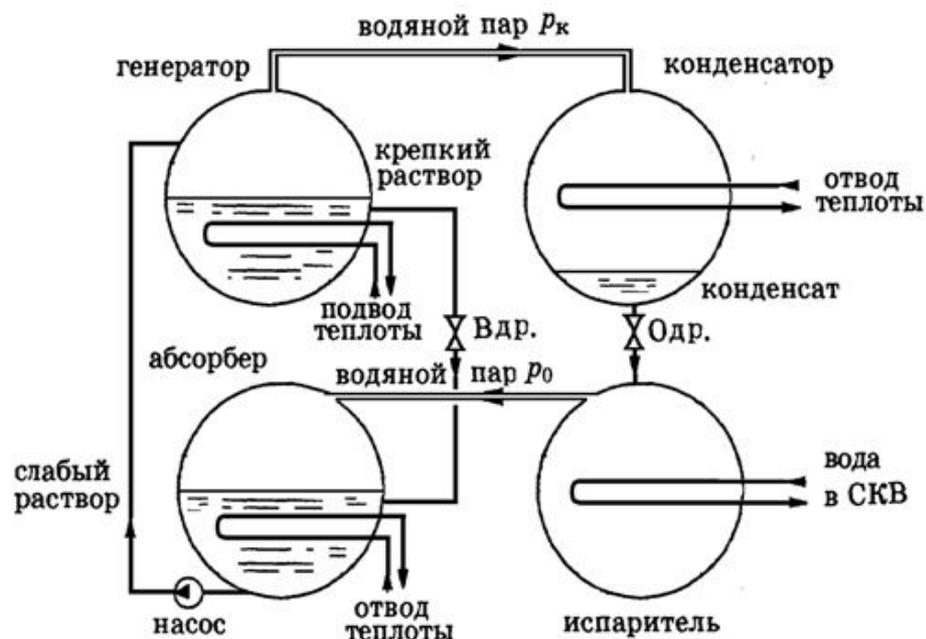
Рабочие вещества и принцип действия АБХМ

Процессы АХМ осуществляются с помощью хладагента и абсорбента.

Для КВ используются бромистолитиевые АХМ – АБХМ, в которых вода является хладагентом, а бромистый литий (LiBr) – абсорбентом.

LiBr – соль, по химическим свойствам близкая к поваренной соли, но ее абсорбирующая способность к воде во много раз выше. Чем выше концентрация и ниже температура раствора LiBr , тем выше его способность поглощать пары воды. При поглощении выделяется теплота абсорбции.

АБХМ работает за счет потребления тепловой энергии. В генераторе к раствору LiBr подводится тепло (горячая вода, пар, продукты горения топлива). В результате нагрева из раствора выделяются водяные пары (хладагент), которые поступают в конденсатор, а раствор концентрируется.



Принцип действия
АБХМ