

Лекция 9.

Нормативные документы для систем холодоснабжения СКВ. Энергосбережение в системах тепло-холодоснабжения СКВ. Повышение коэффициента преобразования энергии ПКХМ. Аккумуляторы холода. Автоматическое регулирование.

Проектирование, монтаж и эксплуатацию систем холодоснабжения следует выполнять с учетом требований безопасности и охраны окружающей среды, которые отражены в нормах: ГОСТ EN 378-1, ГОСТ EN 378-2, ГОСТ EN 378-3, ГОСТ EN 378-4, ГОСТ 3362.1-2015 (ISO 5149-1:2014), ГОСТ 3362.2-2015 (ISO 5149-2:2014) ГОСТ 3362.3-2015 (ISO 5149-3:2014) ГОСТ 3362.4-2015 (ISO 5149-4:2014), СП 60.13330.2020, СП 73.13330.

Согласно СП 60.13330.2020 проектирование систем холодоснабжения следует выполнять с учетом требований безопасности и охраны окружающей среды согласно ГОСТ EN 378-1-2014, (приложения В, Е, F).

В системах холодоснабжения следует использовать холодильные машины и установки, работающие на экологически безопасных хладагентах с нулевой озоноразрушающей способностью и потенциалом глобального потепления не выше 2 500 (ГОСТ EN 378-1-2014, приложения В, Е).

Таблица 1

Система классификации хладагентов по группам опасности

Горючесть хладагента	Токсичность хладагента	
	Низкая	Высокая
Способность к распространению пламени отсутствует	A1	B1
Трудная горючесть	A2	B2
Горючесть	A3	B3

Группу опасности применяемых хладагентов следует принимать: А1 (нетоксичные, негорючие) либо А2 (нетоксичные, трудногорючие) (ГОСТ EN 378-1-2014, приложение F).

Область применения хладагентов группы А2 ограничена: их не следует использовать для мультизональных систем непосредственного охлаждения, а также холодильных машин с водяным охлаждением или выносным конденсатором.

Для систем кондиционирования воздуха не допускается использовать оборудование с хладагентами групп опасности А3, В1, В2, В3, за исключением установок технологического кондиционирования.

На холодильных машинах и установках с хладагентом, устанавливаемых в холодильных центрах, следует предусматривать сбросные трубопроводы отведения хладагента от предохранительных клапанов холодильных машин и установок за пределы здания.

В помещениях холодильных установок следует предусматривать общеобменную вентиляцию, рассчитанную на удаление избытков теплоты. Система приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением в рабочем режиме должна обеспечивать не менее четырех воздухообменов в час, а при аварии – по расчету, но не менее пяти воздухообменов в час.

Необходимо рассчитывать концентрации хладагента при аварийной разгерметизации системы (показатели ППНЧ, НКПВ) и соответствующее им предельное количество хладагента, которое может попадать в данное помещение при аварии.

Потребление энергетических ресурсов достигло таких гигантских масштабов, что угрожает с одной стороны исчерпанием природных энергетических ресурсов - органических видов топлива и «энергетическим голодом», с другой стороны – загрязнением окружающей среды продуктами сгорания топлива. Финансовые вложения в энергосбережение в 3-5 раз

эффективнее, чем вклады в наращивание генераторных мощностей. Проблемы энергосбережения в настоящее время имеют важное значение в первую очередь в связи с ограниченностью природных ресурсов, неравномерным их распределением, а также в связи со всё возрастающим техногенным загрязнением окружающей среды, частью которого являются тепловые сбросы холодильных машин. Уменьшение вредного влияния на окружающую среду может быть достигнуто повышением эффективности холодильных систем как при их создании, так и в процессе эксплуатации.

Энергосбережение в системах тепло- холодоснабжения

Активные мероприятия направлены на снижение расхода теплоты, холода, воды и электроэнергии в системах обеспечения микроклимата и реализуются в процессе проектирования, монтажа и эксплуатации инженерных систем здания: отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения. На всех этапах проектирования, начиная с подготовки исходных данных, при выборе технологической схемы обработки воздуха и технического решения, заканчивая выбором оборудования, необходимо принимать решения, направленные на энергосбережение. Есть мероприятия, которые не требуют дополнительных материальных затрат, а необходим только опыт и искусство проектировщика, например, при подготовке исходных данных, выборе расчетного температурного режима холодильной машины, выборе параметров охлаждаемой среды, а также способа охлаждения конденсатора, параметров среды, охлаждающей конденсатор, конструировании систем теплохолодоснабжения: выборе типа схемы, количества контуров, способа регулирования холодопроизводительности и расхода хладоносителя и т.п. Другие мероприятия, например, в случае применения энергосберегающего оборудования (насосов, вентиляторов, кондиционеров, чиллеров) или при использовании теплоты вторичных энергетических ресурсов и

возобновляемых источников энергии, требуют дополнительных капитальных затрат.

Большое влияние на потребление энергии оказывает степень децентрализации системы кондиционирования воздуха, а так же системы тепло-холодоснабжения, параметры и расход жидкости в системах тепло-холодоснабжения, потери давления в трубопроводах системы тепло-холодоснабжения.

В системе тепло-холодоснабжения поверхностных теплообменников центрального кондиционера и местных агрегатов устройство нескольких параллельно функционирующих циркуляционных контуров, отличающихся гидравлическим и тепловым режимами, обеспечивает устойчивую работу системы в процессе эксплуатации, повышает надежность работы оборудования и позволяет экономить энергию. При обвязке теплообменников фэнкойлов следует отдавать предпочтение двухходовым регулирующим клапанам, обеспечивающим переменный расход хладоносителя. Для устойчивой работы теплогенератора и чиллера требуется поддержание постоянства расхода тепло-хладоносителя в контуре циркуляции, тогда как в контуре потребителя с целью энергосбережения следует предусматривать регулирование расхода тепло- и хладоносителя. Разделение контуров источников теплоты и холода потребителей может осуществляться через проточные или емкостные теплообменники или с помощью новых устройств гидравлической балансировки схем – коллекторов малых перепадов давлений (называемых еще гидравлическими регуляторами). Следует применять насосы с электронным управлением во вторичном контуре.

Комплексное проектирование инженерных систем оборудования зданий предполагает выбор параметров теплоносителя в системе теплоснабжения местных агрегатов системы кондиционирования воздуха с учетом особенностей гидравлического режима сети трубопроводов и режима работы источника теплоты, каким является тепловой насос. Эффективность

работы теплового насоса увеличивается с понижением параметров теплоносителя в системе теплоснабжения вентиляторных доводчиков.

Одной из составляющих затрат электроэнергии при работе систем теплоснабжения являются затраты электрической энергии на работу циркуляционных насосов. Потребляемая электрическая мощность определяется подачей насоса (расходом жидкости) и развиваемым давлением, которое расходуется на преодоление гидравлического сопротивления сети. Следует стремиться к уменьшению расхода жидкости и потерь давления в сети.

Искусство проектировщика состоит в соединении богатейших возможностей современного оборудования, направленных на энергосбережение, с отечественным, зарубежным и собственным опытом проектирования. На всех этапах проектирования: от выбора принципиального решения и далее при расчете и проектировании СКВ необходимо знать и учитывать те новые возможности, которые предоставляют нам конструкторы и производители современного оборудования для систем кондиционирования воздуха. Основным критерием выбора оборудования должен быть показатель эффективности его работы: для насосов и вентиляторов – коэффициент полезного действия, для холодильных машин и тепловых насосов – холодильный и тепловой коэффициент. Холодильный и тепловой коэффициенты агрегата являются переменными величинами и зависят не только особенностей конструкции агрегата, но и от параметров охлаждаемой и охлаждающей среды. Чем выше температура охлаждаемой жидкости и ниже температура охлаждающей среды, тем выше холодильный коэффициент, чем ниже параметры нагреваемой жидкости в тепловом насосе и выше температура источника низкопотенциальной теплоты, тем выше тепловой коэффициент. Следует выбирать оборудование с наивысшими показателями эффективности и обеспечивать условия их эффективной работы.

Согласно п.8.21 СП 60.133330.2020 системы холодоснабжения следует проектировать с использованием энергоэкономичного оборудования не ниже

двух высших классов энергоэффективности (А и В). Рекомендуемые минимальные значения требуемых коэффициентов энергоэффективности холодильного оборудования в режиме охлаждения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Минимальные значения коэффициентов энергоэффективности холодильного оборудования

Класс энерго-эффективности	Коэффициент энерго-эффективности, кВт/кВт	Холодильное оборудование			
		Непосредственное (прямое) охлаждение	Промежуточное охлаждение, тип конденсатора чиллера		
			сплит-системы, мульти-сплит-системы, мультizonальные системы с переменным расходом хладагента, компрессорно-конденсаторные блоки, крышные кондиционеры	Воздухо-охлажда-емый	Водо-охлажда-емый
А, В	EER	3,0	2,9	4,65	3,4
	COP	3,4	3,0	4,15	–
	ESEER	4,6	3,5	5,0	–

Примечание – EER – коэффициент энергоэффективности, или холодильный коэффициент, равный отношению полной холодопроизводительности к полному энергопотреблению; ESEER – коэффициент осредненной эффективности чиллера при полной и трех вариантах неполной тепловой нагрузки; COP – коэффициент производительности, равный отношению полной теплопроизводительности к полному энергопотреблению.

Повысить эффективность системы кондиционирования воздуха возможно за счет регенерации теплоты удаляемого воздуха, использования в качестве

вторичного источника теплоты наружного воздуха или его смеси с удаляемым воздухом в тепловом насосе в переходный и холодный период года (чиллер с функцией теплового насоса, «водяная петля», системы VRF, комбинированные системы «фреон»-«вода»). Теплота конденсации хладагента безвозвратно выбрасывается в атмосферу в сплит-системах, мультizonальных системах типа VRV и чиллерах с воздушным охлаждением конденсатора. Ее можно использовать для подогрева воды на нужды горячего водоснабжения, а также для подогрева воды в воздухонагревателе второй ступени в теплый период года, выбирая чиллер соответствующего типа: с водяным охлаждением конденсатора или с воздушным охлаждением конденсатора и полной регенерацией теплоты конденсации. С энергoэкономичной точки зрения совместное использование теплоты и холода, вырабатываемое чиллером, повышает эффективность инженерных систем здания, уменьшает срок окупаемости капитальных вложений.

Неравномерность потребления и поступления теплоты и холода вызывает необходимость автоматического регулирования параметров микроклимата в помещении, снижения нагрузки на источники теплоты и холода. Поэтому оборудование должно быть управляемым и должно отключаться, если в его работе нет необходимости. Автоматическое регулирование или управление микроклиматом должно иметь своей целью уменьшение потребления тепловой и электрической энергии.

Значительным резервом экономии электроэнергии при эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования воздуха является регулирование расхода жидкости в системах тепло-холодоснабжения СКВ, а в автономных кондиционерах – плавное изменение количества вырабатываемого холода, и для тепловых насосов количества вырабатываемой теплоты. Насосы, вентиляторы и компрессоры в зависимости от способа регулирования расхода перемещаемой жидкости могут быть стандартные со ступенчатым регулированием числа оборотов, с электронным управлением (встроенный

частотный преобразователь), на основе технологии электронной коммутации электродвигателя (ЕСМ).

Благодаря микропроцессорам открылись совершенно новые возможности энергосбережения в системах кондиционирования воздуха за счет управления. Использование ЕСМ технологии позволяет посредством изменения скорости вращения электродвигателя нагнетателей автоматически поддерживать заданную величину некоторых технологических параметров: в замкнутом циркуляционном контуре перепад давления, расход и температура жидкости, в вентиляционной сети – перепад давления, температура и расход воздуха. При этом фактическое значение параметра измеряется с помощью соответствующего датчика, и после преобразования в стандартный электрический сигнал заводится в качестве обратной связи на элемент сравнения регулятора. При отклонении в ту или иную сторону фактической величины параметра от заданной появляется сигнал рассогласования, который обрабатывается автоматическим регулятором, что приводит к уменьшению или увеличению скорости вращения электродвигателя, и, соответственно, к изменению физического параметра до достижения им заданного значения. Технология электронной коммутации электродвигателя (ЕСМ) реализована в компрессорах инверторных сплит-систем, мультизональных систем VRF , инверторных компрессорно-конденсаторных блоках, компрессорах чиллеров.

Следует анализировать возможность использования комбинированного испарительного охлаждения с целью сокращения искусственного холода.

Наибольший годовой эффект экономии электроэнергии на выработку холода дает комбинация энергосберегающих технических решений. Например, предлагаются кондиционеры для бассейнов, реализующие регенерацию теплоты и холода, испарительное охлаждение, а также встроенный холодильный контур парокомпрессионной холодильной машины с использованием сбросной теплоты конденсации (рисунок 1).

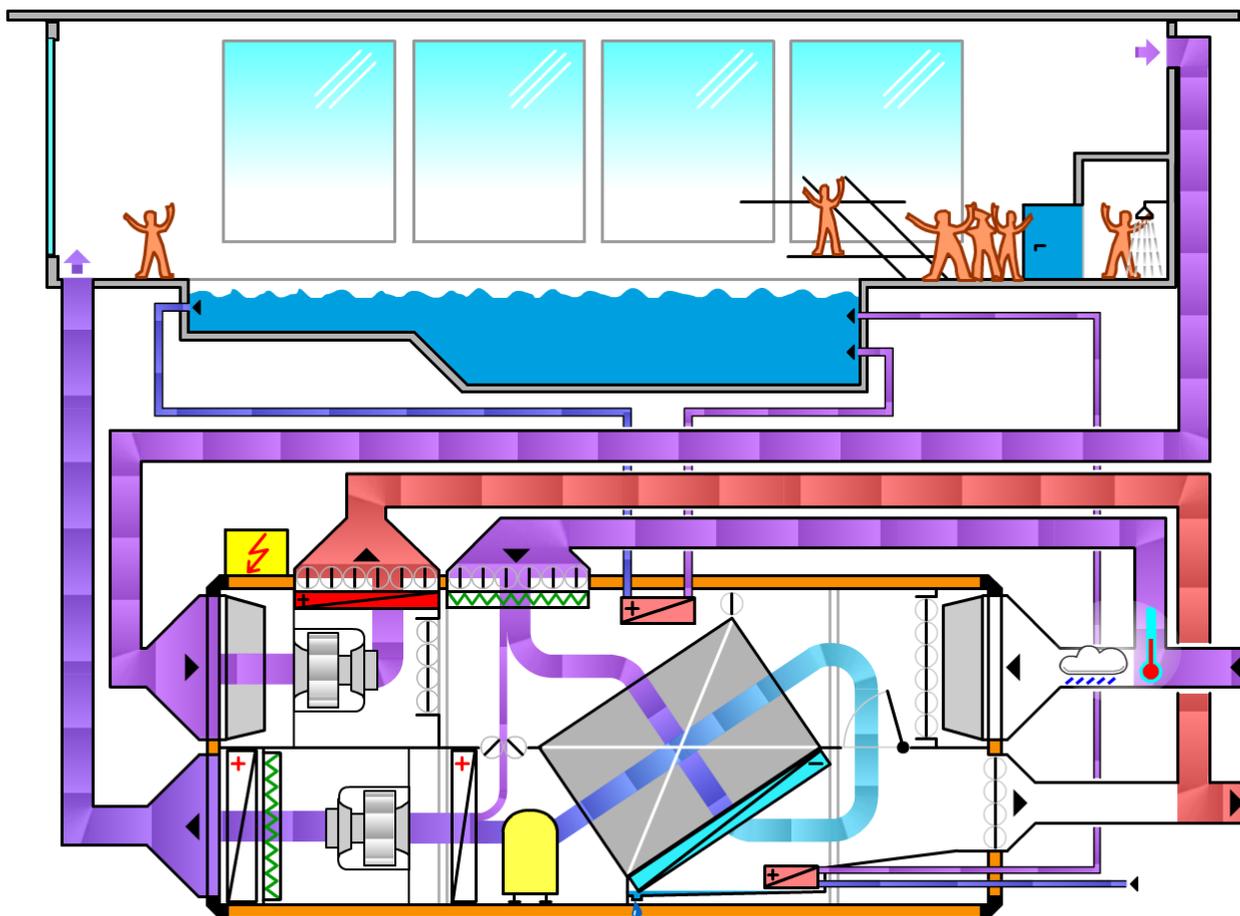


Рис.1. Схема работы центрального кондиционера бассейна со встроенным рекуператором и тепловым насосом при высокой влажности наружного воздуха

Для снижения мощности оборудования и сглаживания неравномерности нагрузки необходимо использовать аккумулирование теплоты и холода, особенно в тех случаях, когда используется двухставочный тариф электроэнергии. Пониженный тариф в ночные часы и использование аккумулирования холода позволяет снизить затраты электроэнергии на выработку искусственного холода.

В процессе функционирования системы кондиционирования воздуха существует неравномерность потребления теплоты и холода, связанная с изменением параметров наружного климата, в частности теплопоступлений от солнечной радиации. Эта неравномерность носит не только сезонный, но и суточный характер. Может быть использовано сезонное аккумулирование, например теплоты солнечной радиации в теплое время года, или холода природного льда в холодное время года. Для этой цели используют подземные

аккумуляторы, менее подверженные влиянию изменений наружного климата, но более трудоемкие и дорогие, чем надземные аккумуляторы. Теплоаккумулятор может быть конструктивным элементом наружного ограждения здания и использоваться для пассивного отопления за счет аккумуляирования солнечной энергии и передачи ее в помещение. В условиях резко континентального климата могут быть использованы строительные конструкции здания, например массивные колонны в подвале, для аккумуляирования ночного холода и последующего предварительного охлаждения приточного воздуха.

Краткосрочное аккумуляирование теплоты и холода используют для сглаживания суточной неравномерности солнечной радиации и других источников. Особенно актуально аккумуляирование теплоты при использовании альтернативных источников энергии (вторичных энергетических ресурсов промышленного производства, солнечной радиации, теплоты грунта и т.д.), когда существует значительная неравномерность поступления теплоты от них, связанная с непостоянством технологии или природных явлений. Не всегда максимум теплоступлений от такого источника совпадает с максимумом теплостребования системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. На основе анализа функционирования источника и потребителя теплоты или холода делают вывод о необходимости применения аккумулятора теплоты или холода.

Основное назначение аккумулятора – сглаживание неравномерного режима поступления и потребления теплоты. Целесообразно применение аккумулятора холода при ночном тарифе на электроэнергию, когда в ночные часы вырабатывается холод, а в дневное время наблюдается максимум потребности в нем.

По природе накопители теплоты можно разделить на два класса:

-химические, в которых используется энергия химических реакций;

-физические, принцип действия которых основан на явлении теплообмена или фазового перехода. При аккумулировании теплоты наибольшее распространение получили вторые.

Системы аккумулирования теплоты характеризуются:

- энергоемкостью;
- мощностью потоков подводимой и отводимой теплоты;
- продолжительностью цикла аккумулирования: краткосрочные от 6-12 часов до 10 суток, долгосрочные от 10 суток до нескольких месяцев;
- объемной плотностью энергии;
- диапазоном изменения температуры;
- коэффициентом теплопотерь;
- единовременными и эксплуатационными затратами.

Системы аккумулирования теплоты состоят из :

1. Теплоаккумулирующего материала (ТАМ)
2. Резервуара;
3. Тепловой изоляции.

Количество аккумулированной теплоты, кДж, определяют по формулам:

1. При отсутствии фазовых переходов:

$$Q_a = cm(t_2 - t_1),$$

где m - масса теплоаккумулирующего материала, кг,

c - теплоемкость теплоаккумулирующего материала, кДж/кг °С,

t_1, t_2 – температура материала после и до зарядки, °С.

2. При плавлении ТАМа:

$$Q_a = m[c_m(t_{пл} - t_1) + \Delta i_{пл} + c_{ж}(t_2 - t_{пл})],$$

$c_m, c_{ж}$ - теплоемкость ТАМа в твердом и жидком состоянии, кДж/кг °С,

$t_{пл}$ – температура плавления материала, °С;

$\Delta i_{пл}$ - скрытая теплота плавления, кДж/кг .

Использование процессов фазового перехода и энергии связи атомов обеспечивает большие плотности энергии и позволяет уменьшить массу и объем аккумулятора. В реальном процессе количество аккумулированной теплоты ниже теоретического значения вследствие потерь теплоты, выравнивания поля температур, потерь при зарядке и разрядке. Отношение реального и теоретического количества аккумулированной теплоты определяет эффективность теплового аккумулятора. Основой создания эффективных тепловых аккумуляторов является правильный выбор ТАМа с учетом его теплофизических характеристик. Сравнение массы и объема аккумулятора теплоты из различных материалов при аккумулировании 1 кДж теплоты и перепаде температур $\Delta t = 10$ °С представлено в таблице 2.1.

Таблица 3

Сравнение массы и объема аккумулятора из разных материалов

Вид теплоаккумулирующего материала	Масса, кг	Объем, м ³
Галька	113636	71,74
Вода	23866	23,9
Глауберова соль	3723	2,55
Парафин	4794	5,27

Наиболее часто используются водяные аккумуляторы. В настоящее время во многих странах проводят работы по созданию тепловых аккумуляторов с большой поглощающей способностью, следовательно, с малыми габаритными размерами.

Чиллер со «свободным охлаждением» работает в трех режимах: охлаждение хладоносителя за счет искусственного холода, получаемого при работающем компрессоре, (теплый период года), комбинированное охлаждение за счет искусственного холода и природного холода наружного воздуха (переходный период), природного холода наружного воздуха (холодный период). Переключение режимов осуществляется с помощью двухпозиционного трехходового клапана. В теплый период года трехходовой клапан закрывает проход хладоносителя через дополнительный теплообменник «свободного охлаждения», в переходный и холодный период открывает проход хладоносителя через дополнительный теплообменник. Переключение ходов трехходового клапана осуществляется автоматически с помощью микропроцессора по сигналу датчика температуры наружного воздуха. Принцип работы чиллера со свободным охлаждением в соответствующих режимах представлен на рис. 2, 3.

а) режим искусственного охлаждения (теплый период) (рис. 2):

компрессор работает в соответствие с изменяющейся нагрузкой в системе холодоснабжения,

циркуляционный насос обеспечивает циркуляцию хладоносителя через испаритель холодильной машины,

вентилятор охлаждения конденсатора работает в переменном режиме, расход охлаждающего воздуха изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха,

незамерзающий раствор циркулирует через испаритель холодильной машины, минуя дополнительный теплообменник свободного охлаждения.

б) комбинированный режим искусственного и естественного охлаждения (переходный период):

хладоноситель предварительно частично охлаждается в теплообменнике «свободного охлаждения» и затем поступает в испаритель холодильной машины, где охлаждается до необходимой температуры;

компрессор работает в переменном режиме с частичной нагрузкой, чтобы

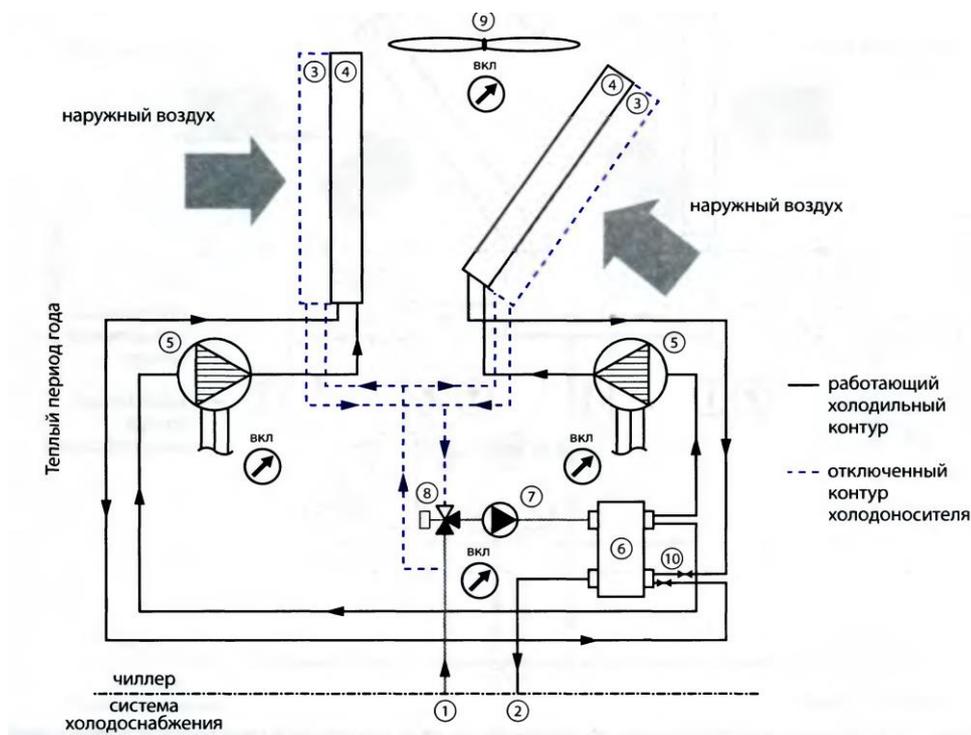


Рис. 2. Схема работы чиллера со «свободным» охлаждением в теплый период:

1- вход хладоносителя в чиллер; 2-выход хладоносителя из чиллера, 3-теплообменник «свободного» охлаждения; 4-конденсатор, 5-компрессор; 6-испаритель; 7-циркуляционный насос; 8-трехходовой клапан; 9-вентилятор охлаждения конденсатора;

10-TRV

обеспечить полное охлаждение хладоносителя, потребляемая мощность уменьшается пропорционально уменьшающейся холодопроизводительности чиллера;

циркуляционный насос обеспечивает циркуляцию хладоносителя через теплообменник «свободного охлаждения» и испаритель холодильной машины;

вентилятор обеспечивает охлаждение воды в теплообменнике «свободного охлаждения» и охлаждение конденсатора при максимальной скорости вращения.

Доля экономии искусственного холода за счет «свободного охлаждения» от расчетного расхода холода изменяется от 0 до 100% в зависимости от разности начальной температуры охлаждаемой воды и температуры наружного воздуха.

Неравномерность нагрузки на систему кондиционирования воздуха в течении суток, месяца и года вызывает необходимость регулирования производительности источников теплоты и холода, в частности чиллера, что является одним из основных путей экономии эксплуатационных затрат на выработку холода и теплоты. В традиционном чиллере использовали два спиральных компрессора одинаковой производительности, что давало две ступени регулирования 50 % и 100 %. В энергосберегающих чиллерах применили два спиральных компрессора разной производительности и получили три ступени регулирования 37 %, 63 % и 100 %. Кроме того, использован принцип параллельной работы двух компрессоров в одном холодильном контуре, что по сравнению с чиллерами, имеющими два холодильных контура, дало увеличение холодильного коэффициента за счет снижения мощности, потребляемой вентиляторами конденсатора. Учитывая, что большую часть времени чиллер работает с минимальной нагрузкой, достигается экономия потребляемой электроэнергии.

Теплота конденсации хладагента холодильной установки должна быть передана окружающей среде. В качестве теплоотводящей среды могут быть выбраны вода или атмосферный воздух. При использовании воды в качестве теплоотводящей среды возможны два вида водоснабжения: проточное (разомкнутая система подачи воды) и обратное (замкнутая система подачи воды).

При проектировании холодильной установки температура конденсации определяется в зависимости от выбранного типа конденсатора. В отличие от температуры охлаждаемых объектов, не зависящей обычно от времени года, температура теплоотводящей среды в большинстве случаев претерпевает сезонные изменения, вызывающие соответственно изменения температуры конденсации хладагента.

Принято определять температуру конденсации при водяном охлаждении конденсаторов по выражению $t_k = t_{w2} + (4...6) \text{ } ^\circ\text{C}$; значение же нагрева воды в конденсаторе $\Delta t_w = t_{w2} - t_{w1}$ приходится выбирать в зависимости от стоимости

воды. Если при проточной системе водоснабжения используется дешевая имеющаяся в достаточном количестве вода, то ее можно нагревать в конденсаторе на $2...5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такой же перепад температур воды принимают и при обратном водоснабжении. Если же вода дорогая или дебит ее ограничен, то воду следует нагревать в конденсаторе на $6...10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для испарительных конденсаторов температуру конденсации принимают как $t_k = t_{mm} + (10...20)\text{ }^{\circ}\text{C}$. В воздушных конденсаторах воздух обычно нагревается на $\Delta t_b = t_{b2} - t_{b1} = 4...6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чтобы компенсировать меньшую интенсивность теплопередачи в конденсаторах воздушного охлаждения, приходится предусматривать повышенную разность температур Θ_k между конденсирующимся хладагентом и воздухом. В этом случае температуру конденсации принимают $t_k = t_{b2} + (10...15)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому расчетная температура конденсации хладагента оказывается довольно высокой и может превысить предельно допустимое значение.

Для холодильных установок температура конденсации при воздушном охлаждении не должна превышать критическую температуру хладагента. Следует иметь в виду, что и при высоких расчетных значениях температуры конденсации при воздушном охлаждении годовой расход электроэнергии может оказаться по сравнению с вариантами, в которых используют испарительные конденсаторы и конденсаторы водяного охлаждения, во всех климатических зонах, кроме зоны с сухим и жарким климатом, так как средняя годовая температура воздуха существенно ниже, чем среднегодовая температура воды, тем более при обратном водоснабжении.

В системах кондиционирования воздуха для охлаждения конденсаторов холодильных машин с водяным охлаждением применяют обратное водоснабжение. Охлаждение воды производят с помощью контактных устройств — открытых градирен(вентиляторных) (рис.4). Вода охлаждается в потоке воздуха за счет ее частичного испарения (прямой испарительный процесс). Конечная температура воды из градирни зависит от ее конструктивных факторов и параметров рабочей среды — наружного

воздуха. В открытых градирнях температура охлажденной воды превышает температуру мокрого термометра окружающего воздуха не менее чем на 3 °С.

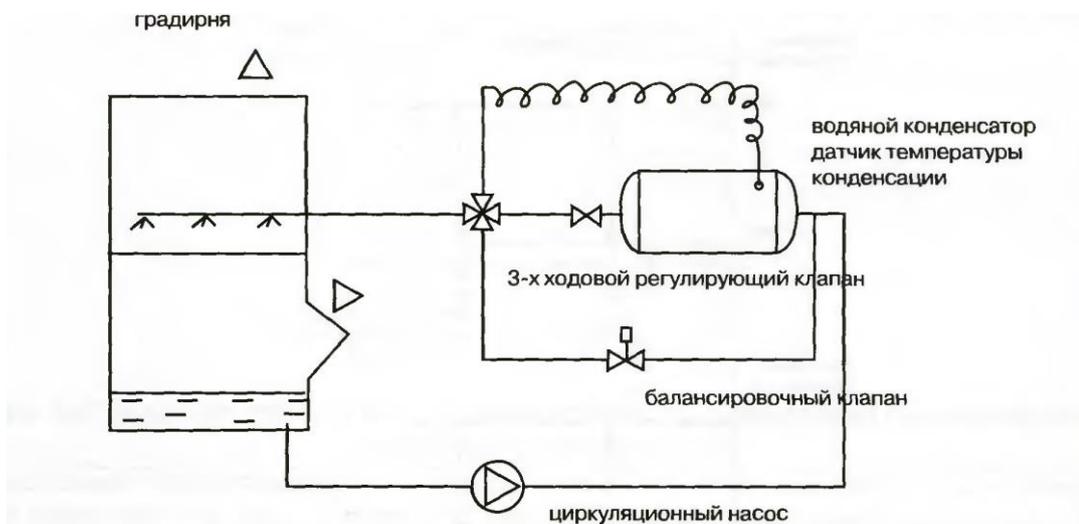


Рис.4. Схема гидравлического контура, охлаждающего конденсатор, с открытой градирней и регулированием давления конденсации

В последние годы чаще используют схемы с закрытой (сухой) градирней(рис.5), где температура охлажденной воды превышает температуру окружающего воздуха не менее чем на 3 °С. Соответственно, температура конденсации еще выше и ниже коэффициент преобразования энергии холодильной машины.

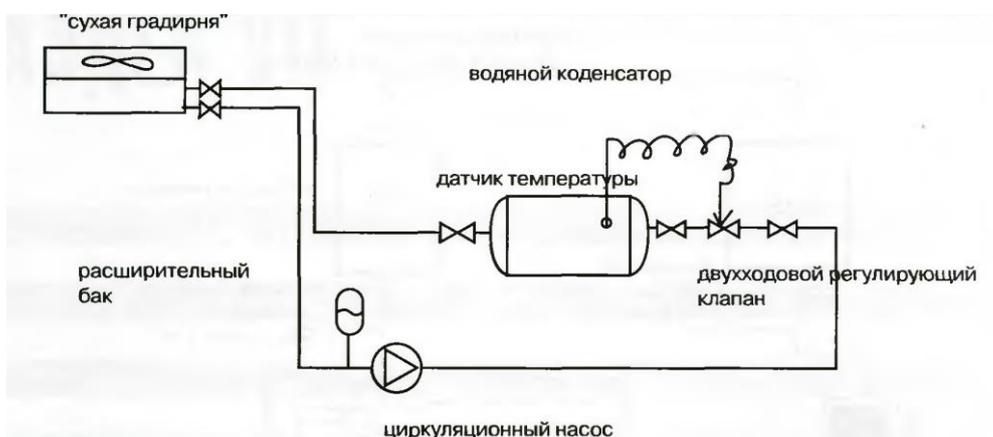


Рис.5. Схема гидравлического контура, охлаждающего конденсатор, с закрытой градирней и регулированием давления конденсации

Увеличить охлаждающий эффект можно с помощью двухступенчатого (косвенного и прямого) охлаждения воздуха. Воздух сначала охлаждается в поверхностном теплообменнике с помощью воды, циркулирующей в трубном пространстве. Это первая ступень процесса — косвенное охлаждение воздуха. Процесс происходит при постоянном влагосодержании воздуха. Затем воздух подвергается прямому охлаждению в контактном аппарате в адиабатических условиях за счет распыления рециркуляционной воды с помощью механических форсунок.

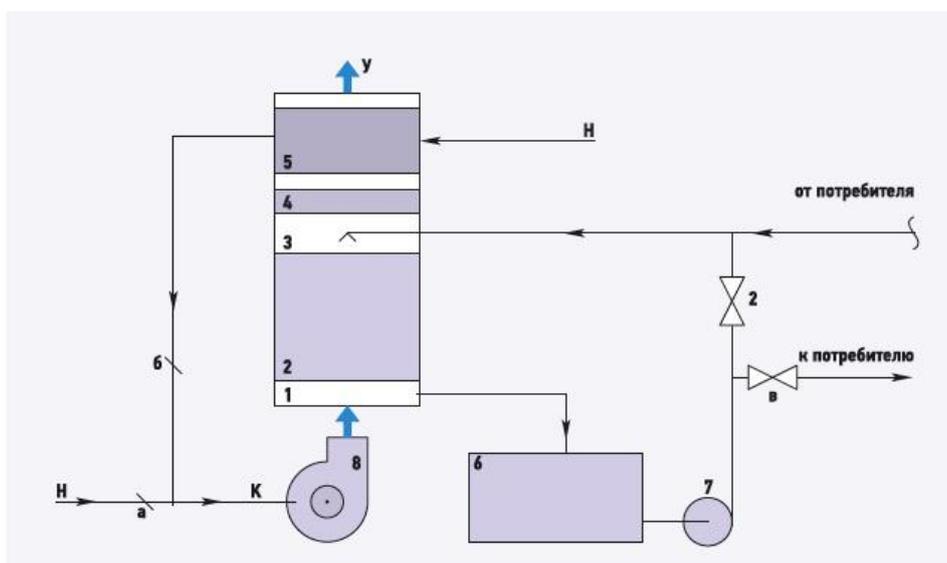


Рис.4. Схема градирни с двухступенчатым охлаждением

Градирня содержит корпус 1 прямоугольного сечения, внутри которого расположена в виде вертикального слоя насадка 2. Насадка выполнена в виде блока из плоскопараллельных карбонатных листов, отстоящих друг от друга на 10 мм. Сверху насадки установлено разбрызгивающее устройство — механическая форсунка 3 для распыления воды. Над форсункой в верхней части корпуса расположен каплеуловитель 4, предотвращающий вынос капель воды. Сверху за каплеуловителем установлен поверхностный теплообменник 5. Снизу данного устройства расположен аккумуляторный бак для воды 6, насос 7 для подачи воды и вентилятор 8 для подачи воздуха. Вентилятор

соединен при помощи воздухопроводов с теплообменником 5 и с нижней частью корпуса (градирни) 1.

При организации двухступенчатого охлаждения наружного воздуха в данном устройстве (косвенного и прямого охлаждения) создаются все условия для устойчивого понижения температуры воды до необходимых значений ниже температуры мокрого термометра воздуха.

При использовании этой воды в системе оборотного водоснабжения, например, в конденсаторах холодильных машин и др. температурно-влажностный режим работы данного устройства будет несколько отличаться от изоэнтальпийного (адиабатического) увлажнения и охлаждения воздуха в насадке данной градирни.

Расчеты режимных параметров градирни подтверждают, что ее применение для охлаждения воды при оборотном водоснабжении позволяет снизить температуру выходящей воды t_{mk} до численных значений ниже, чем температура окружающего (наружного) воздуха по мокрому термометру t_{mn} .