



Руководство по применению тепловых насосов с водяным кольцевым контуром
(для инженеров)

Руководство по применению тепловых насосов с водяным кольцевым контуром (для инженеров)





Оглавление

Децентрализованный подход.....	3
Глава 1. Этапы проектирования.....	4
Глава 2. Системы без бойлера (полностью электрические).....	20
Глава 3. Варианты систем.....	22
Глава 4. Водоподготовка.....	31
Глава 5. Управление тепловыми насосами.....	34
Глава 6. Различные замечания к проектированию.....	36
Приложение каталог продукции компании FHP Manufacturing.....	48





Децентрализованный подход

Многозонные или многоквартирные здания обладают двумя характеристиками, важность которых часто недооценивается специалистами по вентиляции и кондиционированию воздуха: разброс и сезонные перепады нагрузок.

Разброс нагрузок может быть определен как отсутствие нагрузки в одной части системы и присутствие в другой. Вероятность того, что все жильцы присутствуют в здании, все освещение и отопление включено и работает в режиме пиковой проектной нагрузки, слишком мала, и еще меньше – в больших зданиях. Большинство проектировщиков учитывает разброс нагрузок на систему охлаждения путем выбора оборудования с производительностью, меньшей, чем максимальная потенциальная нагрузка. Строго говоря, разброс – это оценочный фактор. Если проектировщик ошибся, или характер пользования зданием меняется, система охлаждения может стать избыточной или неадекватной.

Почти все централизованные системы вентиляции и кондиционирования воздуха имеют низкую эффективность при частичной нагрузке. При проектной величине нагрузки, хорошие централизованные системы кондиционирования работают прекрасно, однако в течение большей части года, они потребляют непропорциональное количество энергии, поддерживая заданные параметры, и затрачивают очень мало энергии на фактическое отопление или охлаждение здания.

Желательность наличия отопления или охлаждения в каждой комнате, и в любое время, очевидна, но большинство централизованных систем удовлетворяет эту потребность путем «дробления» энергии, при котором кондиционирующая среда (воздух или вода) делится на две части – одна часть перегревается, а другая – переохлаждается. Среда доставляется в помещение, смешивая холодную и горячую части в требуемой пропорции для достижения требуемой температуры помещения.

Другие системы являются энергетически нейтральными, а их последние версии неправомерно расхваливаются как энергосберегающие системы. По сравнению с их расточительными предшественниками, они представляют собой значительный шаг вперед, хотя фактически они не сохраняют излишки энергии для последующего использования.

Первым крупным шагом в сокращении годового потребления энергии в многоквартирных зданиях является отход от создания централизованных систем в помещениях, где они продемонстрировали свою непригодность – отопление и охлаждение различных помещений. Для целей отопления и охлаждения, однако, **локальное устройство в каждой зоне или комнате обеспечивает гарантированное сбережение энергии.** Каждое такое устройство обеспечивает нагревание или охлаждение, когда потребуется, только до нужного уровня, реализуя таким образом разнообразие отопления, охлаждения и потребления электроэнергии.

Вторым шагом является включение всех тепловых насосов в единый замкнутый водяной контур. Это позволяет переносить энергию из помещений, которые нужно охлаждать, в помещения, в которых недостаточно энергии. Замкнутый водяной контур обеспечивает эффективный перенос энергии (можно сделать утверждение, что перенос энергии на значительные расстояния при помощи воздуха является наименее эффективным из всех применяемых методов переноса тепла).

Система с тепловыми насосами и водяным контуром получила широкое признание со стороны владельцев и проектировщиков, до той степени, что она стала предпочтительной системой для применения в многоквартирных или многозонных зданиях. В отличие от большинства унитарных теплонасосных установок, система с замкнутой водяной петлей применяется с наибольшей пользой в местностях с холодным климатом, таких как Торонто. В числе многих преимуществ, реализованных в системах с тепловыми водяными насосами, можно отметить:

- Предельная гибкость зонирования.
- Максимальное разнообразие в любой момент времени; устройства работают, только когда этого требуют индивидуальные органы управления в помещении.
- Меньший объем технических помещений, поскольку не требуется объемного оборудования центрального охлаждения.
- Уменьшается общий объем здания, или увеличивается его полезный объем, так как система трубопроводов минимальна, а основной перенос энергии происходит посредством электропроводки и неизолированных водонесущих труб.
- Уменьшаются трудозатраты по установке на объекте, по сравнению с центральными



системами.

- Простота проектирования. Отсутствуют сложные управляющие клапана, или обширная, монтируемая на месте система автоматического управления температурой.
- Максимальная надежность системы. Отказ одного устройства не влияет на работу остальных.
- Нет необходимости в привлечении квалифицированного оператора, меньше стоимость обслуживания, поскольку любое устройство можно снять, заменить запасным, а неисправное устройство отправить для ремонта в местную мастерскую, после чего вернуть в здание для использования в качестве запасного.
- Максимальная гибкость архитектуры проекта, как в части основной конфигурации здания, так и в планировке интерьера. Терминальные устройства можно устанавливать в виде подоконных консолей, подвешивать к потолку, устанавливать в шкафах, выполнять в виде больших блоков мощностью до ~105 кВт, и, если в помещении нет места для установки оборудования, устанавливать на крыше.
- При строительстве коммерческих офисных или жилых зданий, требуются минимальные начальные инвестиции, поскольку водяной контур может быть спроектирован и смонтирован без предварительного знания структуры организации этажей в сдаваемых в аренду помещений, а локальное оборудование может быть закуплено и установлено позднее, по мере необходимости.
- В основном постоянное потребление электроэнергии в течение года, с обеспечением любых дополнительных требований к отоплению, за счет ограничения потребления, или за счет использования повышения температуры воды в периоды внепикового потребления (по ночному тарифу).
-

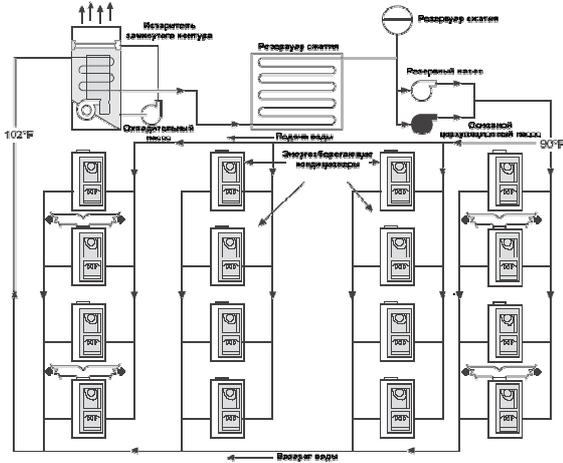
Глава 1. Этапы проектирования

А. Описание системы

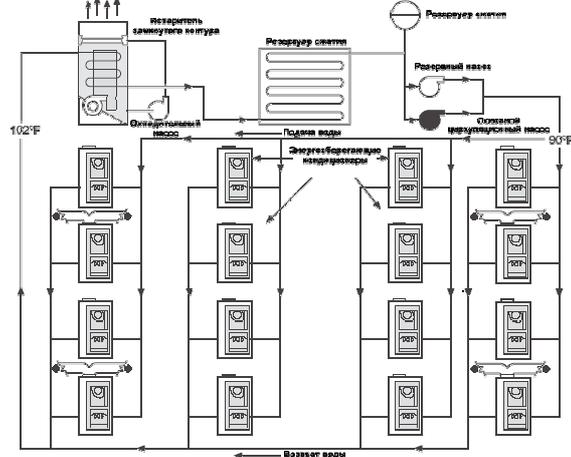
Рассматриваемая децентрализованная система круглогодичного отопления и охлаждения состоит из двухтрубного замкнутого водяного контура, по которому неохлажденная вода постоянно циркулирует по всему объему здания. Размещение труб внутри здания освобождает от необходимости их изоляции. Дополнительный центральный источник тепла (котел), добавляющий тепло при минимальной температуре рабочего диапазона, и устройства, отводящие тепло при максимальной температуре рабочего диапазона (градирни), поддерживают температуру воды в контуре в течение года в диапазоне от 18° до 35°С. Заполненный водой, этот контур является одновременно и потребителем, и источником энергии. Сбережение энергии в таких системах достигается перекачиванием тепла из теплых помещений в холодные, в любое время, когда где-либо в здании имеет место такое соотношение.

При необходимости обогрева помещения, кондиционер поглощает тепло *из контура*, а при необходимости охлаждения, кондиционер отводит тепло *в контур*. Основное преимущество системы – децентрализация и возможность индивидуального отопления или охлаждения; жилец может выбрать обогрев или охлаждение, или отключить кондиционер, обслуживающий определенное помещение, не влияя на условия, поддерживаемые в других помещениях. Жилец может пользоваться своей свободой выбора в любое время дня или года.

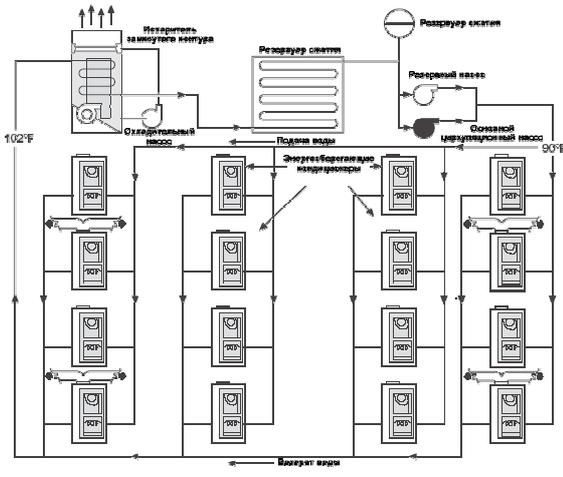
1 В жаркую погоду, когда нужно охладить все или большую часть помещений, тепло, отобранное от воздуха, переносится в водяную петлю. Испаритель отводит излишнее тепло наружу, для поддержания максимальной температуры воды на уровне примерно 90°F (32°C).



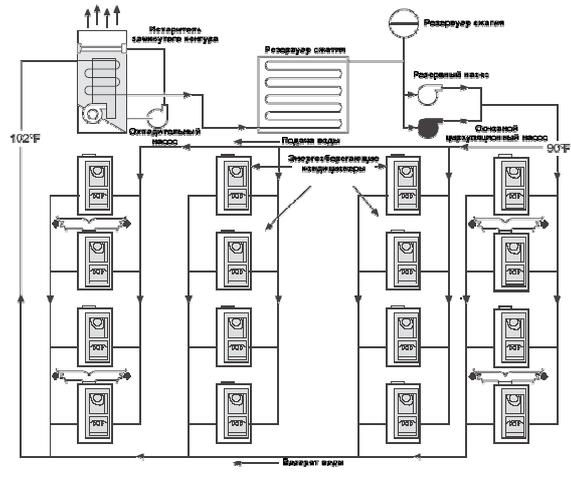
2 Только в очень холодную погоду, при необходимости отопления всех или большей части помещений, нужно нагревать воду водонагревателем. Это делается, когда температура в водяной петле падает до 64°F (18°C). Количество этого тепла уменьшается каждый раз, когда одно или более помещений работают на охлаждение. Размер центрального водонагревателя никогда не составляет больше, чем две трети от требуемого в других системах, а из-за разброса – обычно еще меньше.



3 В умеренную погоду, устройства, работающие в теневой части здания, часто работают на обогрев, тогда как устройства на солнечной стороне – на охлаждение. Если примерно одна треть устройств работает на охлаждение, они добавляют тепло в водяную петлю, так что не требуется ни нагрева, ни отвода тепла.



4 Такие применения, как офисные здания, с высоким тепловыделением от освещения, людей или оборудования во внутренних помещениях, могут требовать круглогодичного охлаждения. Тепло, отобранное от таких помещений, отводится в водяную петлю, обеспечивая достаточно тепла для периметра здания, если не менее одной трети кондиционеров работает на охлаждение.



Подписи к рисункам:

- | | |
|--|--------------------------------|
| Closed circuit evaporative cooler | Градирня |
| Boiler | Котел |
| Compression tank | Подпорный резервуар |
| Cooler pump | Насос градирни |
| Supply water | Подача воды |
| Standby pump | Резервный насос |
| Main circulating pump | Основной циркуляционный насос |
| Energy conservation conditioning units | Энергосберегающие кондиционеры |
| Return water | Возврат воды |
| Units on cooling | Устройства, работающие на |



В. Определение зонной нагрузки на систему охлаждения здания

Рассчитывается методами, приведенными в «Основном руководстве» ASHRAE (американское общество инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха) или с использованием специализированных расчетных программ. Результаты расчета вносятся в технологическую карту проекта. Пример карты приведен в Главе 8.

С. Определение зонной нагрузки на систему обогрева здания

Рассчитывается методами, приведенными в «Основном руководстве» ASHRAE или с использованием специализированных расчетных программ. Результаты расчета вносятся в технологическую карту проекта.

Д. Выбор всех устройств для здания

После расчета всех величин теплопотерь и тепловыделения, выбираются терминальные устройства обогрева и охлаждения (тепловые насосы) для каждой комнаты или зоны в здании.

- Обычная система** — выбор производится по наибольшей нагрузке обогрева или охлаждения. Базовый выбор устройств охлаждения производится по температуре воды на выходе $\sim 38^{\circ}\text{C}$, а устройств обогрева – по температуре воды на выходе $\sim 18^{\circ}\text{C}$.
- Система без котла** — выбираются только устройства по нагрузке охлаждения, и указывается мощность электронагревателей для компенсации теплопотерь в помещении.

Е. Выбор градирни

- Суммируется общая расчетная мощность охлаждения всех терминальных устройств в кВт.
- Выбирается градирня по данным производителя, в которых указаны характеристики общей мощности в соответствии с проектной температурой и влажностью в летний сезон.
- Учитывается разброс нагрузок, если он отличается от 80%, для выбора нужного размера градирни. Следует иметь в виду, что скорость потока воды в контуре остается постоянной для заданной суммарной подключенной мощности и влажности, при любом разбросе. Градирня никогда не выбирается для 100% мощности (постоянная работа 100% устройств), иначе градирня будет бесполезно избыточной. Малое количество больших устройств потребует учета большего фактора разброса, чем система, состоящая из небольших компонентов. Вероятные значения фактора разброса, для суммарного расхода в системе, приведены ниже:
85% для суммарного расхода в системе до $\sim 6,3$ л/с ($22,3$ м³/ч)
80% для суммарного расхода в системе от 6.3 до 9.5 л/с
75% для суммарного расхода в системе более 9.5 л/с
- Альтернативный метод выбора градирни по кривым характеристик охладителей, указанным производителем, приведен в Главе 7, «Различные замечания к проектированию». Альтернативные методы теплоотвода рассмотрены в Главе 3-А.

Ф. Определение расхода воды в контуре

Рекомендуемые значения расхода воды в контуре приведены в нижеследующей таблице.

Наружная температура (по данным бюро погоды), °F (°C)	Температура воды на выходе из охладителя, °F (°C)	Расход воды, GPM/т (л/с/kW)	75% разброс для охладителя °F (°C)	Разность температур наружного воздуха и охлажденной воды °F (°C)
65(18.3)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	25.0(13.9)
66(18.9)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	24.0(13.3)
67(19.4)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	23.0(12.8)
68 (20.0)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	22.0(12.2)
69 (20.6)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	21.0(11.7)
70(21.1)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	20.0(11.1)
71 (21.7)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	19.0(10.6)



72 (22.2)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	18.0(10.0)
73 (22.8)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	17.0 (9.4)
74 (23.3)	90.0 (32.2)	2.04 (0.037)	11.3(6.3)	17.0 (9.4)
75 (23.9)	91.0(32.8)	2.19(0.039)	10.6(5.9)	16.0 (8.9)
76 (24.4)	91.5(33.1)	2.27(0.041)	10.2(5.7)	15.5 (8.6)
77 (25.0)	92.0 (33.3)	2.36 (0.043)	9.8 (5.4)	15.0 (8.3)
78 (25.6)	92.5 (33.6)	2.45 (0.044)	9.5 (5.3)	14.5 (8.1)
79(26.1)	93.0 (33.9)	2.55 (0.046)	9.1 (5.1)	14.0 (7.8)
80 (26.7)	93.5 (34.2)	2.66 (0.048)	8.7 (4.8)	13.5 (7.5)
81 (27.2)	94.0 (34.4)	2.78 (0.050)	8.3 (4.6)	13.0 (7.2)
82 (27.8)	94.5 (34.7)	2.91 (0.052)	8.0 (4.4)	12.5 (6.9)

Нужно или пересчитать в °С, кВт или заменить номограммой

В таблице приведены рабочие характеристики, используемые для выбора и каталогизации градирен, работающих в замкнутом контуре, в единицах проектной летней температуры и влажности.

Зная проектные значения летней температуры и влажности в вашей местности, просто войдите в таблицу и выберите диапазон охлаждения, подводимую температуру и расход, для выбираемой мощности устройства.

Температуры воды в контуре T1 – до градирни (неохлажденная вода) T2 – после градирни

Наружная температура Tн

Перепад температур в водяном контуре (летом)

Диапазон, $dT = T_1 - T_2 = 9,5^\circ\text{F} (5,3^\circ\text{C})$

Разность температур наружного воздуха и охлажденной воды:

$dT_{гр} = T_2 - T_n$ Наружная температура = $14,5^\circ\text{F} (8,1^\circ\text{C})$

$T_2 = T_n + dT_{гр}$ Наружная температура + Подводимая температура = $78 + 14,5 = 92,5^\circ\text{F} = 25,6 + 8,1 = 33,6^\circ\text{C}$

$T_1 = T_2 + \text{Диапазон} = 92,5 + 9,5 = 102^\circ\text{F} = 33,6 + 5,3 = 38,9^\circ\text{C}$

Удельный расход воды в контуре на единицу тепловой мощности

(галлоны в мин на лощ.силу) $\text{gpm}/\text{л.с.} = 2,45$

(литры в секунду на кВт) $\text{Л}/\text{с}/\text{kW} = 0,044$

Таким образом, в системе в 100 л.с. (74.5 kW) циркулирует 245 gpm (15,5 л/с), при температуре на входе охладителя в $102^\circ\text{F} (38,9^\circ\text{C})$, а на выходе – $92,5^\circ\text{F} (33,6^\circ\text{C})$, при наружной температуре в $78^\circ\text{F} (25,6^\circ\text{C})$, по данным бюро погоды.

1. Разделите диапазон градирни на разброс в системе, для определения диапазона отдельных терминальных устройств.
2. НЕ используйте разброс для определения расхода воды в системе. Системный разброс охлаждения влияет только на диапазон (и, возможно, на выбранный размер) градирни. Так, в системе в 100 л.с. (74,5 kW), при 70% разбросе, циркулирует 245 gpm (15,5 л/с), при температуре на входе охладителя в $101,4^\circ\text{F} (38,6^\circ\text{C})$, а на выходе – $91,5^\circ\text{F} (33,1^\circ\text{C})$, при наружной температуре в $78^\circ\text{F} (25,6^\circ\text{C})$.

Стр. 6 / Каталог 330-1

3. Более высокие значения расхода бесполезны, поскольку увеличившаяся стоимость перекачки полностью компенсирует ожидаемое улучшение характеристик терминальных устройств.
4. Значение расхода, меньшее, чем рекомендуемое, весьма невыгодно, так как увеличившееся годовое время работы градирни и котла уменьшает выгоду от сбережения энергии, достигаемого при использовании замкнутого водяного контуре, в комбинации «источник тепла/теплоотвод».

G. Определение дополнительного электрического нагревателя для предварительного нагрева воздуха

Если для предварительного нагрева воздуха, поступающего в здание для вентиляции, используется электронагрев, установите мощность этих нагревателей, поскольку это влияет на добавочное тепло, требующееся для воды в контуре. Определите мощность нагрева данного оборудования, и внесите в технологическую карту проекта.



Н. Определение дополнительного омического нагрева для компенсации теплопотерь через стекла

Если для компенсации теплопотерь через стекла используется электронагрев, установите мощность этих нагревателей, поскольку это влияет на общее количество добавочного тепла, требуемого для воды в контуре. Определите мощность нагрева данного оборудования, и внесите в технологическую карту проекта.

I. Выбор дополнительных водонагревателей

Дополнительное тепло может быть введено в воду контура с помощью котлов, работающих на органическом топливе, электрических водонагревателей, или с помощью паровых или водяных теплообменников.

Для получения значительных выгод, могут также использоваться солнечные коллекторы, учитывая, что применение теплового аккумулирования компенсирует влияние плохой погоды. При отсутствии соответствующего теплового аккумулирования, система на солнечных батареях работает только как альтернативный источник энергии.

1. **Традиционная система без ночного режима:** Определите размер нагревателя, соответствующий 70% теплопотерь здания, плюс теплопотери через градирню (эти потери варьируются, в соответствии с подготовленностью оборудования к зимней эксплуатации; подробнее см. Этап N).

Дублирующая традиционная система без ночного режима:

- а) Рассчитайте зонную тепловую нагрузку здания (Этап В).
- б) Определите величину омического нагрева, используемого для предварительного нагрева поступающего для вентиляции воздуха (Этап F).
- в) Определите максимальную величину омического нагрева, используемого для компенсации теплопотерь через стекла, например, в плинтусных нагревателях, или в противосквозняковых воздушных экранах (Этап G).
- г) Определите максимальное чистое количество тепла, подводимого к зданию тепловыми насосами от источника водоснабжения [Эта величина равна: $a - (b + c)$].
- д) Определите размер дополнительного нагревателя, как 70% от пункта d.

2. **Традиционная система с ночным режимом:** Определите размер нагревателя для компенсации теплоты поглощения всеми устройствами, подключенными к контуру. В единицах нагрузки охлаждения, эта величина приблизительно равна 8900 Btu/h/т (0,742 kW/kW). Если при утреннем включении одновременно запускается только охлаждающее технологическое оборудование, устройства, расположенные в компьютерном помещении, и/или охлаждающие устройства во внутренней зоне, 80% от их теплоотвода можно с уверенностью отнести на уменьшение размера нагревателя, при обеспечении того, чтобы самый маленький выбранный нагреватель соответствовал 70% теплопотерь здания в период ночного спада.

3. **Система без котла:** В холодном климате, когда градирня (устройство теплоотвода) расположена снаружи, требуется небольшой электрический водонагреватель мгновенного действия, для компенсации теплопотерь через охладитель (величина таких потерь варьируется в соответствии со степенью подготовленности оборудования к зимней эксплуатации; подробнее см. Этап N-9, стр. 20).

Некоторые замечания по выбору котлов

Существует два основных вида водогрейных котлов:

1. Обычные котлы, с теплообменниками из обычных сталей. Такие котлы не допускают конденсации продуктов сгорания внутри теплообменников, поскольку продукты сгорания при конденсации образуют весьма агрессивную смесь воды с кислотами, которая вызывает быструю коррозию теплообменника и, как результат, выход котла из строя. Обычно конденсация происходит при температуре около 60°C. Температура воды, возвращаемой в котел не должна существенно превосходить эту величину. Такие котлы имеют сравнительно невысокий КПД (около 80%), поскольку приходится выбрасывать в атмосферу довольно много тепла.

Пример схемы включения котла в контур теплового насоса показан на рисунке внизу. Подающая температура котла может быть настроена на 90 - 95°C. Температура воды, возвращаемой в котел не должна опускаться ниже 60°C. (Это условие необходимо обеспечить выбором котла и настройкой) Инжекторный насос запитывается при помощи инвентора, и скорость его регулируется таким образом,

чтобы температура прямой воды в контуре тепловых насосов была в диапазоне 23 - 25°C. **Рис. # 1**

2. Конденсационные котлы, в которых имеется специальный конденсационный теплообменник, выполненный из нержавеющей сплавов. В котлах этого типа конденсация жидкости из продуктов сгорания является регулярным процессом, и конденсат отводится в канализацию (после соответствующей химической обработки). В результате удается снизить температуру выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания до 30°C и поднять КПД до 92-96%. Такие котлы являются значительно более экологически чистыми, поскольку выбрасывают в атмосферу существенно меньшее количество серных и азотных соединений. Дымоходы могут выполняться из труб ПВХ. Конденсационные котлы не требуют ограничения снизу температуры возвращаемой воды.

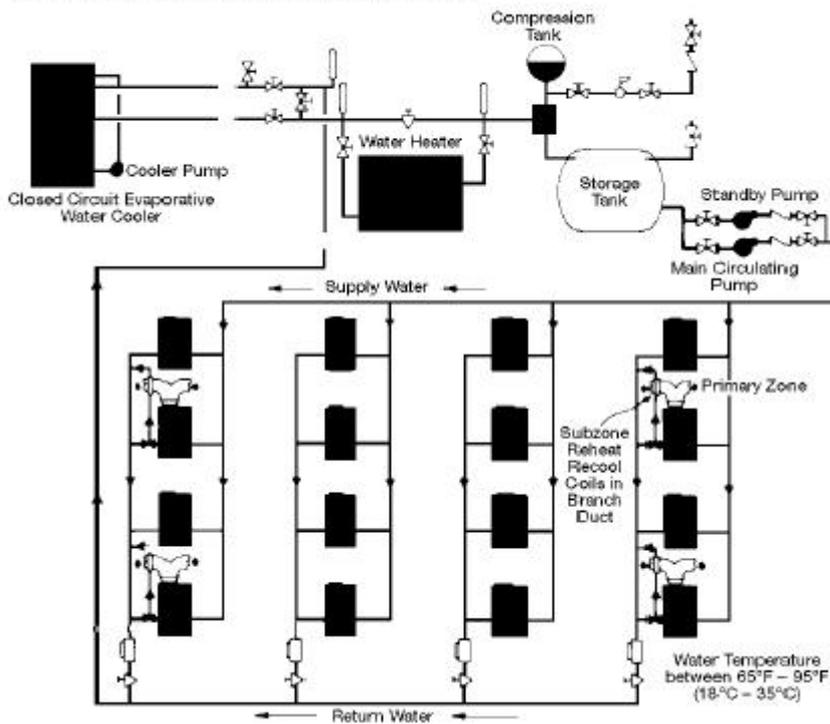
Пример гидравлической обвязки конденсационного котла приведен на рисунке ниже. Подающая вода в этом случае может быть также в пределах 90 - 95°C. Однако вода входящая в котел может иметь температуру возвратной трубы тепловых насосов, т.е. в диапазоне 18 - 25°C. В связи с этим инжекторный насос может быть существенно меньше, чем в предыдущем случае. Современные конденсационные котлы обычно имеют регулируемый газовый клапан, и их система управления способна поддерживать постоянную температуру подающей воды, независимо от тепловой нагрузки. **Рис # 2**

J. Расположение основных компонентов в контуре

Обычно воду откачивают от электрического водонагревателя (или теплообменника), как показано на нижеследующей схеме. Однако, можно также подключать водонагреватель к главному трубопроводу, идущему от теплового насоса, непосредственно перед водоохладителем.

Система нагрева и прокачки воды

Water source heat pump system



Подписи к рисунку:

Water heater	Водонагреватель
Closed circuit evaporative water cooler	Испаритель замкнутого типа
Storage tank	Резервуар
Compression tank	Резервуар подпора



Cooler pump	Насос градирни
Supply water	Подача воды
Standby pump	Резервный насос
Main circulating pump	Основной циркуляционный насос
Primary zone	Основная зона
Subzone Reheat Recool Coils in Branch Duct	Субзоновые теплообменники повторного нагрева и охлаждения в отводном канале
Water temperature	Температура воды
Return water	Возврат воды

К. Проектирование разводки замкнутой системы

- 1. Прокладка трубопроводов:** Проложите трубы для подключения ко всем устройствам. Везде, где это возможно, используйте реверсивную систему с обратной трубой.
- 2. Определите расход:** Определите расход во всех звеньях системы. Это может быть сделано только после установления всех величин расхода (Этап F). Если эти величины неизвестны, расход рассчитывается по формуле:

$$\text{Расход/на устройство} = \text{Расход в системе} / \text{мощность} \times \text{мощность устройства}$$

- 3. Изучите принцип разводки труб:** Необходимо обеспечить эквивалентность перепадов давления в каждом контуре, и обратно к насосу. Если потребуется, измените конфигурацию. Постарайтесь избежать применения балансирующих клапанов.

Изометрическая схема системы с замкнутым контуром, спроектированная для конкретного здания

Подберите диаметры труб, используя диаграмму, приведенную в настоящем руководстве: Диаграмма основана на максимальном перепаде давления в 4 метра на каждые 100 метров, и на максимальной скорости в 3 м/сек. Для других условий, используйте сопровождающий график.

- 4. Рассчитайте потери на трение в трубах:** Измерьте длину контура до наименее благоприятного устройства, и обратно; умножьте на 1,3, для учета арматуры, и получите эквивалентную длину всей арматуры. Если используете диаграмму, умножьте общую эквивалентную длину на средний перепад давления в 2,4 метра на каждые 100 метров.
- 5. Рассчитайте суммарный напор в циркуляционном водяном насосе:** Объедините различные элементы, составляющие общий напор:
 - а) Потери на трение в трубах.
 - б) Потери на трение во всех теплообменных элементах контура: теплообменники в циркуляционной градирне, бойлере, и т.п.
 - в) Потери на трение в теплообменнике наименее благоприятного терминального устройства.
 - г) Потери на трение во всех управляющих клапанах контура (при их использовании).
- 7. Рассчитайте требуемую мощность насоса:** Поскольку расход и суммарный напор в данной точке известны, мощность может быть рассчитана, задавшись КПД, и используя следующую формулу:

$$\text{Соппротивление в л.с.} = (\text{расход в грт} \times \text{напор} \times \text{удельную массу}) / (3960 \times \text{КПД насоса})$$

Вода имеет удельную массу, равную 1,0. При добавлении, для защиты от замерзания, этиленгликоля, удельная масса увеличивается соответственно процентному содержанию этиленгликоля (по объему):

$$30\% = 1,03; \quad 40\% = 1,05; \quad 50\% = 1,06$$



8. **Прием насоса:** Труба, идущая на прием насоса, должна быть прямой по длине, равной пяти ее диаметрам, а диаметр трубы должен быть таким же, как приемный диаметр насоса.
9. **Материал труб:** В общем случае используйте трубы из стандартной черной стали, с чугунной навинчивающейся арматурой. Для труб диаметром более 2 дюймов (51 мм), обычно применяют приварную стальную арматуру. Если используются сварные трубы, для резьб следует указать бобышки с резьбой или без резьбы. Если давление в трубах превышает 100 фунтов на кв. дюйм (689 kPa), используйте особо прочные трубы.
10. **Спуск воздуха:** Установите в верхних точках системы сапуны с ручным управлением, для спуска воздуха во время первичного заполнения системы. Сапуны не требуются в индивидуальных тепловых насосах, так как они бесполезно увеличивают стоимость установки. Воздух будет захватываться и переноситься в верхние точки системы, если только скорость потока воды не меньше минимальной величины, необходимой для работы устройства.
11. **Фильтры:** На приеме каждого насоса должен быть установлен грязевик.
12. **Трубодержатели и удлинение труб:** Убедитесь в том, что на каждой нитке установлены соответствующие трубодержатели, а также предусмотрена возможность термического удлинения труб. предусмотрите необходимые анкерные опоры, петлевые компенсаторы, сочленения, или отводы.
13. **Клапаны:** Установка системы включает необходимые запорные или шаровые клапаны, для разобщения оборудования и трубной разводки в процессе обслуживания. Если нет возможности обеспечить одинаковый перепад давления во всех цепях, установите в системе балансирующие клапаны.
14. **Изоляция:** Необязательна в контурной трубной разводке, за исключением отрезков, проходящих через неотапливаемые помещения, или снаружи здания, так как температура поддерживается в диапазоне между 18,3°C и 35°C, и не «отпотевает», а также не теряет слишком много тепла.

L. Выбор насосов

1. После выбора размеров труб и установлении расхода воды, выберите насосы. Желательны насосы с пологими характеристиками, поскольку, для обеспечения требуемого потока к тепловым насосам в отдаленных точках контура, требуется относительно постоянный напор. Эта потребность возникает вследствие потенциальных коротких замыканий (избыточный поток) в тепловых насосах с низким перепадом давления, подсоединенных близко к контуру.
2. Считается нормальным предусмотреть резервный насос равной производительности, подключенный параллельно, с обратными клапанами в каждой нагнетательной ветви насосов.
3. Желательна установка автоматического программируемого контроллера насоса, поскольку перерыв в потоке воды в контуре может вызвать замораживание водяных теплообменников индивидуальных тепловых насосов в режиме нагрева.
4. Автоматический программируемый контроллер насосов должен считаться обязательным в случае применения труб из ПВХ.

M. Проектирование системы удаления конденсата из охлаждающих теплообменников

1. **Общая информация:** При проходе воздуха через охлаждающий теплообменник, если температура воздуха достигает точки росы на холодной поверхности, происходит конденсация влаги. Эта влага требует наличия поддона под теплообменником, а также труб, идущих от поддона к месту отвода влаги. Система труб, соединяющая все поддоны, соответствует любой системе удаления канализационных вод, и она должна проектироваться для удаления воды без какого-либо обслуживания.



2. **Засорение и перелив:** При плохой разработке и установке системы удаления конденсата из теплообменников, могут произойти засорение и перелив. Если происходит перелив, может быть нанесен значительный ущерб отделке здания. После завершения строительства, владелец должен быть проинформирован о важности регулярной очистки поддонов удаления конденсата из теплообменников.
3. **Прокладка:** Система удаления конденсата из теплообменников должна быть тщательно организована, чтобы ненужная вода удалялась. Все части системы должны обеспечивать дренаж, и не должно допускаться мокрых участков, или ненадлежащих низких точек, поскольку они могут засориться, в результате чего произойдет закупорка и перелив. На горизонтальных участках, трубы должны иметь уклон не менее 8 см на 10 метров.
4. **Расчет расхода воды:** Максимальное количество конденсата, которое образуется в системе, может быть рассчитано по психрометрической диаграмме для каждого устройства. Однако, это довольно трудоемкая процедура, особенно, если в системе работает много терминальных устройств. Если расчет расхода воды в каждом устройстве представляется трудным, можно использовать эмпирическое правило 0,39 кг/час/kW. Устройства, работающие в помещениях с высокой латентной нагрузкой, могут производить до 0,78 кг/час/kW.
5. **Достаточный напор:** Напор, достаточный для того, чтобы вода стекала от поддона к конечной точке, создается разностью высот расположения устройства и конечной точки. Уменьшение трения играет незначительную роль в этом расчете, поскольку поток всегда очень мал по сравнению с обычно применяемыми диаметрами труб.
6. **Удаление воздуха:** Отвод воздуха из системы удаления конденсата из охлаждающих теплообменников более важен, чем вентилирование коллектора отдельной системы канализации, по той причине, что депрессия вытяжного вентилятора в здании может вызвать «зависание» воды в системе. Потенциальное давление в рециркуляционном устройстве может вызвать подъем воздуха по сливной трубе, и нарушить нормальный поток через все устройства системы. Все большие устройства должны иметь вентиляционный воздухоуловитель, на высоте, на 50% большей, чем ожидаемое разрежение в поддоне.
7. **Материал:** Обычно, система удаления конденсата из теплообменников конструктивно состоит из ПВХ труб; таким образом устраняется необходимость в изоляции (см. пункт 10). В ином случае, если местными правилами запрещается применение ПВХ, следует применять медные трубы типа «М». Если техническими условиями запрещается применение меди типа «М», следует использовать медь типа «L», или оцинкованную стальную трубу стандартной массы. Соединения медных труб должны состоять из фитингов, полностью залитых припоем 95-5.
8. **Водоросли:** В некоторых местностях может происходить образование водорослей в поддонах, и, соответственно, в дренажной системе. Если появились водоросли, для сохранения проходимости дренажной системы может потребоваться определенная химическая обработка.
9. **Отвод:** Существуют различные варианты проектирования выхода дренажной системы труб. Обычно, отвод накопленной воды с использованием любой системы, удовлетворяющей местным техническим условиям, является подходящим. Сброс воды самотеком обычно не годится, поскольку он постоянно загрязняет почву. Отвод воды через сток в полу также не подходит, потому что в этом случае пол вокруг спускного отверстия всегда мокрый.
10. **Изоляция труб:** дренажная система труб должна изолироваться с помощью пароизоляции, так как содержимое может быть довольно холодным, и на наружной стороне труб может образовываться конденсат, нанося ущерб зданию. Потенциального ущерба можно избежать с использованием ½-дюймовой (13 мм) изоляции из двойной температурной стекловолоконной ткани, или из отформованной гибкой пены резины.
11. **Очистка:** Проектирование дренажной системы удаления конденсата из охлаждающих теплообменников должно предусматривать периодическую очистку системы от осадков и грязи.



Эта процедура обеспечивается размещением промывочных заглушек.

Н. Проектирование градирни с замкнутым контуром (традиционная система)

1. **Общая информация:** градирня с замкнутым контуром отличается от обычной градирни тем, что охлаждаемая вода циркулирует по замкнутому теплообменнику внутри градирни, никогда не подвергаясь атмосферному воздействию. Испарение в системах производится путем закачивания воды из открытого поддона, через распылители, и на замкнутый теплообменник.
2. **Выбор:** Выбор градирни определяется системными требованиями к теплоотводу, взятыми из завершенной проектной технологической карты.
3. **Управление производительностью:**
 - a) **Плавные регуляторы** на выходе центробежного вентилятора обеспечивают точный метод управления производительностью. Датчик температуры управляет частотным преобразователем двигателя вентилятора градирни. Поддержание постоянной температуры воды в любых условиях нагрузки обеспечивает отличное управление в зимних условиях. Уменьшение потока воздуха сопровождается кубическим уменьшением мощности двигателя вентилятора.
 - b) **Цикличность работы вентилятора** обеспечивает другой способ управления производительностью. Термостат периодически включает и выключает двигатель вентилятора. Точность управления увеличивается при работе со многими вентиляторными охладителями.
 - c) **Распылительный насос** начинает работу каждый раз, когда наружная температура превышает 32°F (0°C), и воздух от вентиляторов не может обеспечить достаточную производительность.
4. **Работа в зимних условиях:** Уязвимость градирен с замкнутым контуром в отношении замораживания может привести к сложной замене дорогого и большого стального теплообменника внутри градирни. Следует соблюдать следующие минимальные условия:
 - a) Предусмотреть верхнее вентиляционное отверстие, закрываемое при остановке вентилятора.
 - b) Полностью изолировать кожух и поддон градирни изоляцией толщиной не менее 2 дюймов (51мм).
 - c) **Не** регулировать водяной поток, идущий через теплообменник.
 - d) Обеспечить изоляцию и пароспутники на открытых трубах, включая распылительные насосы и трубопроводы.
 - e) Предусмотреть электрообогрев поддона, или установить в поддоне теплообменник, через который постоянно проходит небольшая часть воды контура.
5. **Очистка распыляемой воды:** Работа конденсационной установки зависит от соответствующей водоочистки, которая определяется состоянием воздуха и воды в месте установки градирни. Проконсультируйтесь с опытными местными специалистами относительно правильной организации водоочистки.
6. **Слив и добавочная вода:** Испарители испаряют примерно 2,2 литра воды в час на киловатт. Если заменять только это количество воды, концентрация примесей вскоре будет неблагоприятно влиять на градирню. Для предотвращения этого явления, следует дополнительно сливать из устройства 2,2 литра воды в час на киловатт. Требуется подпитка в количестве четыре 4,4 литра в час на киловатт, или примерно 2,5% от общего объема циркулирующей воды.
7. **Местоположение:** Это главный фактор, который следует учитывать. Архитектурная совместимость и нагрузка на конструкцию – это очевидные характеристики для учета. Другими характеристиками, не такими очевидными, являются:
 - a) **Шумность:** В некоторых городах введены нормы, регламентирующие уровень шума, и в технических условия часто задается уровень звукового давления. Запросите у производителей паспортные данные по октавному звуковому давлению, создаваемому охладителями, а также,



дополнительно, данные испытаний.

- b) **Вентиляторы охладителей** прогоняют большие объемы воздуха, и их входы и выходы требуют такого же внимания, как и любой вентилятор. Для обеспечения достаточной подачи воздуха, вокруг устройства должно быть достаточно свободного и беспрепятственного пространства. При установке градирни около стен или в замкнутом пространстве, следует внимательно проанализировать вероятность рециркуляции воздуха, снижающей производительность градирни.
 - c) **Избегайте размещения** около или по ветру от вытяжных труб и мусоросжигателей, во избежание попадания твердых частиц на теплообменники градирни, их засорения и создания препятствий теплопередаче.
 - d) Постарайтесь избежать размещения градирни с ориентацией входа вентилятора в сторону преобладающих зимних ветров, в целях минимизации теплопотерь градирни.
8. **Трубопроводы:** При проектировании трубопроводов для подачи и возврата охлаждающей воды к градирне, уделите внимание обеспечению одинаковых перепадов давления при использовании в градирне множественных контуров.
9. **Наружная установка в холодном климате** приводит к теплопотерям, требующим учета при определении размера дополнительного нагревателя. Указанные теплопотери в градирне, при скорости ветра в 20 м/с, и разности температур между температурой наружного воздуха и температурой воды, составляющей 33,3°C, равны:

Степень подготовки испарителя к эксплуатации в зимних условиях	Нагрузка охладителя kW/тонну(kW/kW) ¹	Примерные теплопотери °F(°C)
a. Герметизация и заводская изоляция на заслонке и кожухе теплообменника.	0,11 (0,031)	0,25 (0,14)
b. Только герметизация заслонки.	0,17 (0,049)	0,44 (0,24)
c. Отсутствие заслонки и изоляции.	0,48 (0,14)	1,30 (0,72)

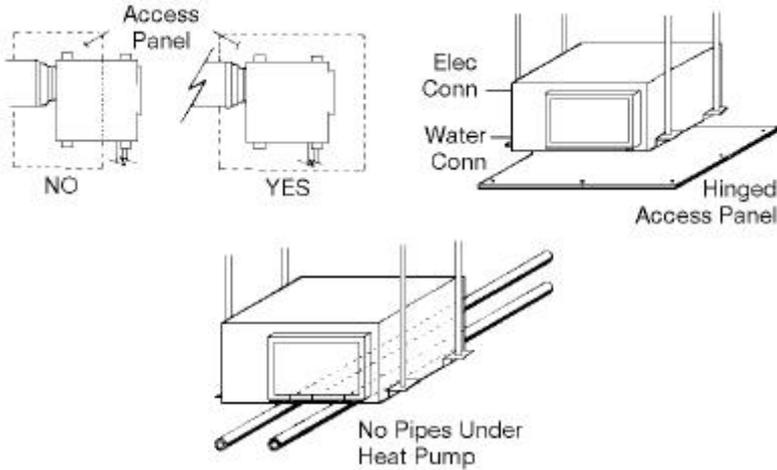
0. Проектирование размещения, доступа, системы трубопроводов и глушения шума

1. **Тепловые насосы – размещение, доступ:** Обеспечение максимальной доступности для содержания, обслуживания, или замены оборудования требует координации различных специалистов. Необходимо помнить:

- a) **Все** механическое оборудование требует определенных условий содержания.
- b) **Все** механическое оборудование требует обслуживания, и, в конечном итоге, замены.

2. **Составьте план отражения от потолка** излучения от освещения, расположенного над техническими средствами.

¹ Instantaneous net cooling load



Подписи к рисунку:

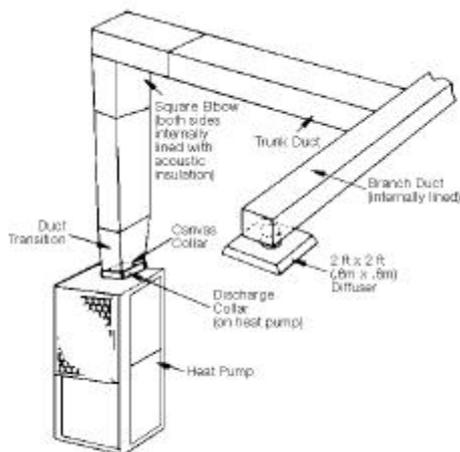
Access Panel	Панель доступа
Elec Conn	Электрические соединения
Water Conn	Соединения водяных трубопроводов
Hinged Access Panel	Откидная панель для доступа
No Pipes Under Heat Pump	Не размещать трубы под тепловым насосом
YES	ДА
NO	НЕТ

3. Предусмотрите панели доступа к потолку под всеми смонтированными на потолке тепловыми насосами, включая:

- a) Зазоры для подвесных кронштейнов, двусторонние панели, манжеты трубопроводов, фитинги и клапаны на трубных и электрических соединениях, как на сетевых, так и на низковольтных. Большие откидные панели доступа, или съемные закладные потолочные панели и тавровые балки. С каждой стороны устройства следует предусмотреть зазор не менее 46 см, для осуществления обслуживания.
- b) Двусторонние отвинчивающиеся панели для обслуживания электрики и вентиляторов.
- c) Доступ к воздушным фильтрам. Оставьте щель для вытаскивания фильтра вниз.
- d) Удостоверьтесь, что трубопроводы не проложены подрядчиком непосредственно под тепловыми насосами.

4. Напольная установка:

- a) Удостоверьтесь, что тепловой насос смонтирован на прорезиненном напольном покрытии, с размером, немного большим, чем основание машины, для ее изоляции от пола. Прорезиненное напольное покрытие должно быть от 3/8 до 1/2 дюйма (10 – 13мм) толщиной (обычно можно выбрать из остатков в магазине напольных покрытий).
- b) Тепловой насос следует размещать с обеспечением доступа к фильтрам и панелям обслуживания с боковых сторон машины. Проконсультируйтесь с производителем относительно размещения панелей доступа. Перед каждой стороной панели доступа к обслуживанию должен быть предусмотрен зазор не менее 36" (91 см), а также зазор не менее 6" (15 см) для доступа к фильтрам.
- c) Кабелепроводы и трубная обвязка не должны мешать замене фильтров. Обычно фильтры вытягиваются вверх; иногда они удаляются сбоку. Кабелепроводы и трубная обвязка не должны также перекрывать панелей доступа.



Подписи к рисунку:

<p>Square elbow (both sides internally lined with acoustic insulation) Trunk Duct Branch Duct (internally lined) Duct Transition Canvas Collar Diffuser Discharge Collar (on heat pump) Heat Pump</p>	<p>Прямоугольное колено (обе стороны покрыты изнутри акустической изоляцией) Магистральный канал Отводной канал (с внутренним покрытием) Переходной трубопровод Тканевая манжета Вентиляционный люк Выпускной фланец (на тепловом насосе) Тепловой насос</p>
---	--

5. Консольный тип:

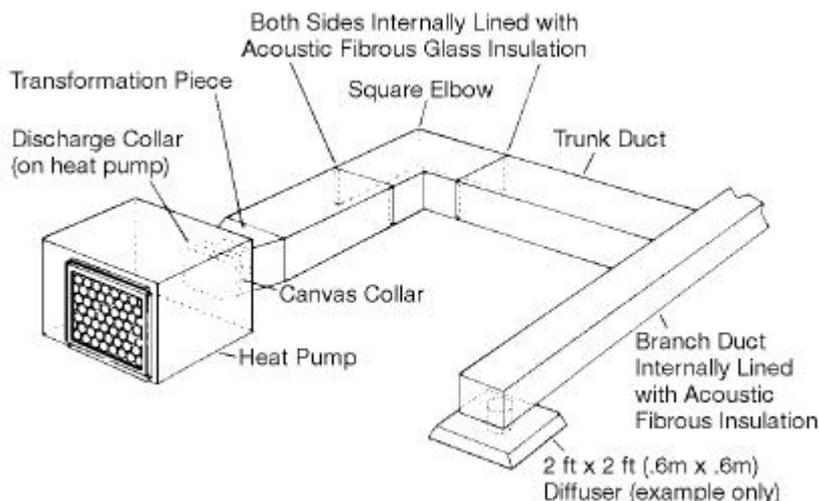
- Некоторые производители поставляют кожух, который устанавливается в первую очередь, некоторые поставляют кожух, который может подниматься, для обеспечения доступа к раме.
- Заводская защитная оболочка теплообменника не должна удаляться до запуска системы в работу. Она выполняет важную функцию защиты теплообменника, поддона и вентиляторов от попадания пыли и мусора, что может иметь место на стройплощадке.
- После установки кожуха, подрядчик использует пустую картонную тару в качестве защиты, прикрепив ее на установленный кожух и раму.

6. Большой однозонный тепловой насос:

- Тепловой насос такой модели обычно имеет диапазон от 35 до 105 kW, и включает один полугерметичный компрессор, или несколько герметичных компрессоров. Вентиляторы имеют ремённый привод, и они могут весить от 726 до 1497 кг.
- На концах рамы должны быть предусмотрены установочные отверстия для подъемных устройств. Для того чтобы тросы не царапали верхнюю часть машины, рекомендуется установить распорки.
- При установке машины следует предусмотреть зазор не менее 24" (61 см), с трех сторон (две стороны и сторона расположения фильтра), для снятия панелей, закрывающих электрические соединения, штуцеры для измерения давления в трубопроводах, вентиляторы, ремённые шкивы, и компрессор. Зазор не менее 6" (15 см) в задней части устройства позволит удалять винты крепления верхней панели. Если зазоры со всех сторон устройства имеют минимальные значения, требуется верхний зазор для снятия вала вентилятора.

7. Воздуховоды и глушение шума:

Предлагаемая схема воздуховодов для случая со многими диффузорами



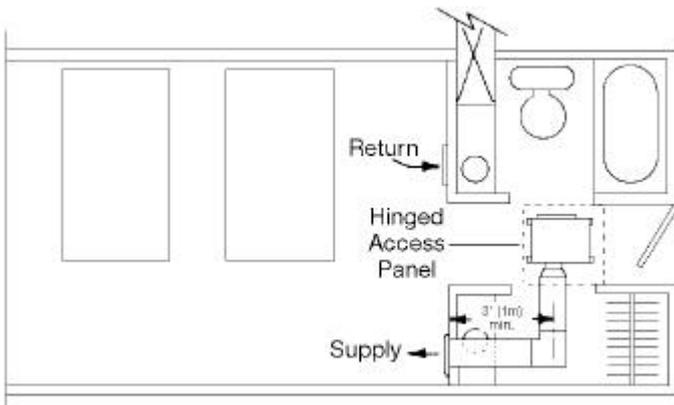
Подписи к рисунку:

<p>Square elbow Both Sides Internally Lined with Acoustic Fibrous Glass Insulation Trunk Duct Branch Duct (Internally Lined with Acoustic Fibrous Insulation) Canvas Collar Diffuser Discharge Collar (on heat pump) Heat Pump Transformation piece</p>	<p>Прямоугольное колено Обе стороны покрыты изнутри стекловолоконной акустической изоляцией Магистральный канал Отводной канал (с внутренним покрытием акустической волокнистой изоляцией) Тканевая манжета Вентиляционный люк Выпускной фланец (на тепловом насосе) Тепловой насос Переходник</p>
--	--

- Обычно воздуховоды подводятся к тепловым насосам, установленным на потолке, в шкафах, или на полу, со стороны выхода машины. Эти воздуховоды относительно малы (по сравнению с воздуховодами в центральных кондиционерах), и часто изготавливаются на заводе.
- Для обеспечения подсоединения воздуховодов на всех моделях предусмотрены выпускные фланцы. Между выпускным фланцем и расширением воздуховода рекомендуется устанавливать тканевую соединительную вставку. Предпочтительная конфигурация для потолочных моделей и горизонтальных переходов обычно требует такого же сечения трубопровода, как вертикальный размер манжеты устройства.
- Размещение теплового насоса должно позволять введение прямоугольного колена без направляющих устройств, сразу за переходом от выпускного фланца к магистральному каналу, для предотвращения прямого распространения звуковых волн. В обоих направлениях, на расстояние не менее двух величин ширины трубопровода, должна быть выполнена

внутренняя акустическая стекловолоконная облицовка толщиной в один дюйм (25 мм).

- d) В качестве общей рекомендации, внутренняя поверхность воздуховодов, подсоединенных к тепловым насосам, должна быть покрыта акустической стекловолоконной облицовкой толщиной не менее ½ дюйма (13 мм), по всей длине воздуховода. Единственное исключение может быть сделано в случае, когда выход магистрального воздуховода подает воздух к системе встроеной осветительной арматуры.
- e) Для максимального глушения шума, последние пять диаметров воздуховода перед каждым диффузором должны покрываться стекловолоконной облицовкой толщиной в один дюйм (25 мм). Внутреннее покрытие служит также термоизоляцией. Размеры трубопровода должны быть рассчитаны на толщину изоляции. См. Руководство ASHRAE.
- f) Колена, тройники, или заслонки создают турбулентность и искажения воздушного потока. Для сглаживания потока перед очередным фитингом или оконечным устройством, рекомендуется предусмотреть прямой участок, длиной от 5 до 10 диаметров трубы. Шум производится от горловин диффузоров, отходящие непосредственно от нижней части магистрального трубопровода. В случае применения управляющих заслонок, располагайте их на несколько диаметров воздуховода выше от диффузора. Проверьте перепад давления в проектируемом воздуховоде по отношению к внешнему статическому давлению, известному для каждой машины при установившемся воздушном потоке.
- g) В гостиницах, отелях, общежитиях или домах для престарелых, предлагается использование одного диффузора, со скоростью воздуха от 2,54 до 3,048 м/с. В указанных случаях используется статическое давление в системе, равное 0,05 дюйма водяного столба (0,012 кПа), длины воздуховода примерно в 2 метра. Выход воздуховода должен быть полностью звукоизолирован, и иметь прямоугольное колено, без направляющих устройств. Возвратный воздух в указанных применениях должен поступать через заборную решетку в нижней части стены, и идти вверх к потолку. Применение потолочных заборных решеток не рекомендуется.



Подписи к рисунку:

Return	Возврат
Hinged access panel	Откидная панель доступа
Supply	Подача

- h) При установке в подвесном потолке тепловых насосов горизонтального типа, иногда размещается аттенюатор в воздухоприёмнике, для ослабления прямого излучения звуковых волн через возвратные отверстия.
- i) При установке тепловых насосов в шкафах, с прохождением возвратного воздуха через жалюзийные двери, для максимального ослабления шума следует избегать непосредственного соединения задней части жалюзи с воздухоприёмником теплового насоса. Если площадь жалюзи не позволяет воспрепятствовать прямому излучению, секция жалюзи должна помещаться в коробку и изолироваться стекловолоконной акустической изоляцией толщиной в один дюйм (25



мм).

j) Выходы воздуховодов от тепловых насосов, смонтированных на потолке и на полу, обычно поступают в кондиционируемое помещение через:

Потолочные диффузоры

Потолочные щелевые пазы

Диффузоры в верхней части стены, или

Р. Проектирование системы вытяжной вентиляции

1. При построении системы вентиляции в зданиях с теплонасосными установками и водяным контуром, была доказана успешность большого количества методов. Рекомендуется использовать устройства регенерации тепла, такие, как тепловые колеса и тепловые трубы.
2. Производительность градирен улучшается при направлении выхода вытяжной вентиляции в охладитель, если конструкция системы это позволяет. Низкая влажность улучшает эксплуатационные характеристики летом, а относительно теплый воздух на выходе минимизирует зимние теплопотери.
3. В высотных офисных зданиях обычно принято, чтобы вентилируемый воздух поступал через оборудование, установленное во внутренних помещениях. Вентилируемый воздух на каждом этаже должен поступать в техническое помещение, где он смешивается с возвратным воздухом из потолочного пространства. Техническое помещение становится смесителем воздуха, и в нем обычно устанавливается однозонный тепловой насос большой производительности (до 87 киловатт), или блочная градирня с подогревателями. В некоторых случаях конфигурация здания определяет необходимость применения более чем одного технического помещения на этаже, с установкой нескольких тепловых насосов.
4. В каждом случае, вентилируемый воздух часто составляет примерно 25% от общего количества подаваемого воздуха, и наружный воздушный воздуховод обычно оснащается подогревателем, так что температура воздушной смеси, поступающей в машину, не падает ниже 16°C. Воздухозаборник на наружной стене обычно включает механическую заслонку, заблокированную с вентилятором.
5. В малоэтажных зданиях, вентилируемый воздух поступает через один или более соединенных в контур водяных тепловых насосов, установленных на крыше, и, далее, по воздуховодам, вниз, в потолочные пространства трех или четырех этажей. Теплообменники прямого расширения представляет собой стандартный змеевик, и выполняет функцию подогрева или охлаждения 100% наружного воздуха. Распределение подготовленного воздуха в потолочном пространстве в 24-30 дюймов (от 610 до 762 мм) обеспечивает полное смешивание с возвратным воздухом. Устройство на крыше, оснащенное подогревателем трубопровода, обеспечивает в потолочном пространстве минимальную температуру воздушной смеси в 60°F (15,6°C). Смесь наружного и возвратного воздуха проходит через тепловые насосы, смонтированные на потолке или на полу, которые осуществляют балансирование явного и латентного охлаждения, или подогрев, перед доставкой воздуха к каждой зоне.
6. Существуют конфигурации зданий, с такими характеристиками нагрузки, которые позволяют питающему вентилятору равномерно подавать вентилируемый воздух в потолочные пространства без предварительной подготовки. Система обеспечивает минимальную температуру входящей смеси путем включения вентиляторов через заданный интервал после включения освещения. Следует быть осторожным при размещении прохода возврата воздуха около приборов освещения, добавляющих тепло, и увеличивающих нагрузку на устройство.
7. Воздух часто поступает через одну сторону осветительной арматуры системы регенерации тепла, потолочные щелевые пазы, или через встроенные диффузоры, размещенные равномерно по площади потолка (по периметру и в средней части). Такое расположение гарантирует постоянную и управляемую вентиляцию, свободную от сквозняков и расслоения воздуха, и позволяет применять различные типы эффективных наружных воздушных фильтров в одной центральной точке. Упрощение обслуживания фильтров часто приводит к минимизации стоимости



обслуживания.

8. Производители обычно не рекомендуют применение проемов в стенах по периметру оконечных консольных тепловых насосов.

- a) Практика показывает высокую нестабильность (иногда отрицательную) объема вентиляции, из-за изменений ветрового давления на различных открытых участках, а также из-за эффекта дымовой трубы.
- b) Настенное соединение часто бывает неудовлетворительным, и приводит к перетеканию воздуха.
- c) Существует возможность продувки через помещение, при использовании более дешевого способа ручного управления.
- d) Фильтрация ограничивается стекловолокном или сеткой.
- e) Такая конфигурация резко ограничивает эффективность фильтрации загрязненного наружного воздуха, что приводит к более частой смене фильтров, по сравнению с рециркуляцией воздуха.

9. Вытяжная вентиляция здания обычно обеспечивается наличием вытяжных вентиляторов в туалетных комнатах, конференц-залах, и в потолочных вентиляционных люках по периметру стен. Некоторые строители направляют выход воздуховода к входу градирни, при этом экономия, достигаемая понижением температуры воздуха на входе указанного устройства, в то же время повышает стоимость такой обвязки.

10. Распространена практика согласования вентиляторов и/или моторов наружных заслонок таймерами. Эти таймеры могут программироваться на автоматическое отключение всего перечисленного оборудования в периоды отсутствия людей (ночи, выходные) в таких помещениях циклического использования, как офисы, конференц-залы, рестораны и т.п. Такое отключение обеспечивает простое и функциональное средство экономии энергии, ассоциируемой с «ночным снижением». Теплопотери, ассоциированные с теплопередачей и инфильтрацией, компенсируются установкой по периметру тепловых насосов, работающих постоянно, и оснащенных собственными термостатами.

Q. Проектирование системы управления температурой

Характер и сложность системы управления температурой определяются факторами назначения здания, начальными инвестициями, и экономией производственных затрат. Учет ночного снижения, управление вентиляцией, и другие простые системы управления могут резко снизить эксплуатационные затраты, и почти всегда оправдывают затраты на их внедрение. К разочарованию многих производителей систем управления, водяная теплонасосная установка не требует наличия больших, дорогих, или сложных устройств управления для максимизации их преимуществ.

В общем случае, для большей части установок требуется нижеследующее:

1. **Каждый индивидуальный воздушный кондиционер**, являющийся частью этой системы, должен включать основные устройства управления, которые, совместно с одним или несколькими таймерами с централизованным программированием, обеспечивают следующие функции:
 - a) Централизованный повторный запуск всех кондиционеров после общего отключения, если это требуется.
 - b) Аналогичное централизованное отключение всех кондиционеров, если это требуется.
 - c) Запуск кондиционеров, согласно пункту а), должен происходить в случайном порядке, в целях сведения мгновенной текущей нагрузки к разумному минимуму.
 - d) Постоянное поддержание под питанием всех электроцепей кондиционеров, для обеспечения минимальной температуры в кондиционируемых помещениях на 5°C ниже дневных уставок.



- е) Перевод вентиляторов на циклическую работу в ночной период, в помещениях с обычной или установленной обитателями постоянной работой вентиляторов.
 - ф) Обеспечение ручного запуска на определенное время остановленных кондиционеров, в целях предоставления возможности людям, работающим в нерабочее время, запускать свои приборы на время до двух часов работы. Последующее отключение кондиционеров, по истечении заданного времени, не должно требовать отдельного сигнала от центральной системы управления.
 - г) Обеспечение контроля **занятости/незанятости** каждой зоны с центральной панели, с которой можно подавать сигналы на поддержание постоянного (нормального) эксплуатационного режима для **занятых** помещений, или режима для **незанятых** помещений (отключение охлаждения, и поддержание температуры в помещениях согласно пункту (д)).
2. **Отключение системы вентиляции** должно соответствовать отключению индивидуальных тепловых насосов, а включение системы должно осуществляться только в период начала использования здания.
3. **Временной график включения индивидуальных кондиционеров** должен включать соответствующий период «прогрева» в утреннее время. Это зависит от наружной температуры. При ночном падении на 5°C ниже уставки нормального отопления, одного часа обычно достаточно для восстановления температуры в помещениях, и для ликвидации «холодка» на мебели и стенах.
4. Более подробно управление терминальными устройствами рассмотрено в Главе 6.

Глава 2. Системы без бойлера (полностью электрические)

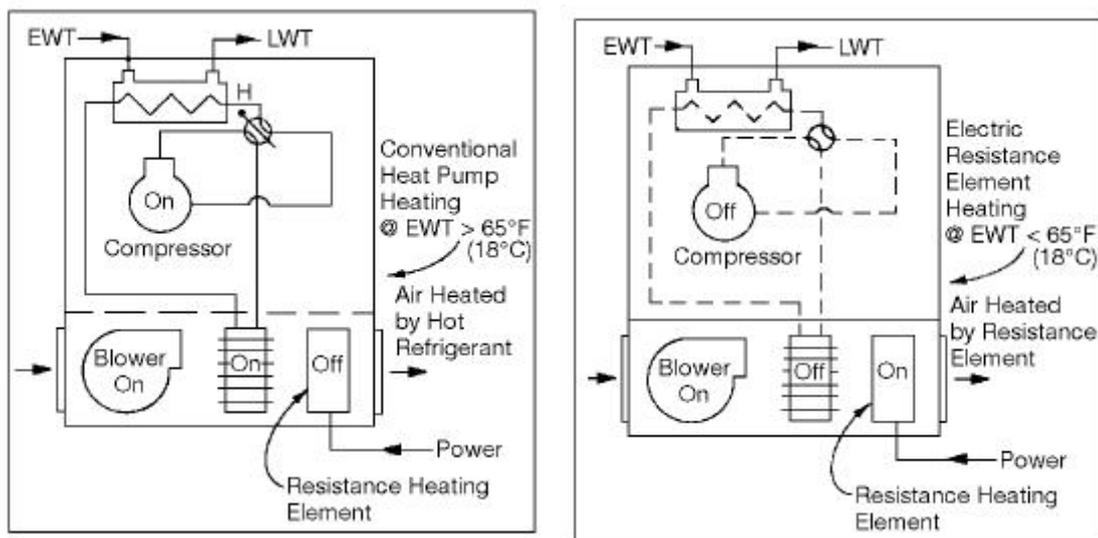
А. Общее описание

Система без бойлера характеризуется исключением большого бойлера, или дополнительного нагревателя из замкнутого контура теплонасосных установок. Каждый кондиционер реверсивного цикла включает электрический нагревательный элемент, а также автоматический контроль включения, приводимый в действие температурой воды, поступающей в устройство.

Когда количество тепла, возвращенного и накопленного в системе, падает ниже количества тепла, отведенного устройствами, обогревающими свои зоны, температура воды в контуре в итоге падает до 18°C. Если это происходит, переключающий элемент в каждом индивидуальном устройстве отключает компрессор для прекращения нагрева в режиме теплового насоса, и *включается* нагревательный элемент для поддержания требуемой температуры в помещениях этой зоны (см. Рис. 1 и 2 ниже). Расположенные в указанной зоне устройства продолжают отводить тепло в водяной контур системы для хранения. В итоге, температура воды в контуре поднимается до 24°C), и установки по периметру зоны переключаются в режим нагрева теплового насоса.

Проект предусматривает аварийное включение, при котором обитатель помещения может включить автоматический переключатель для отопления помещения, независимо от температуры в контуре, например, в случае отказа компрессора. Такая система гарантирует отопление помещения в любом случае.

В. Схема работы устройств (два режима нагрева)



Подписи к Рис. 1 и 2:

EWT	Температура воды на входе
LWT	Температура воды на выходе
Conventional Heat Pump Heating	Обычное нагревание в режиме теплового насоса
Compressor	Компрессор
Blower	Вентилятор
On	Вкл
Off	Выкл
Air Heated by Hot Refrigerant	Воздух, нагреваемый горячим хладагентом
Power	Напряжение
Resistance Heating Element	Электрический нагревательный элемент
Air Heated by Resistance Element	Воздух, нагреваемый электрическим элементом

С. Преимущества

- 1. Снижение первичных затрат:** Стоимость установки индивидуальных электронагревателей с автоматическими переключателями меньше, чем стоимость установки центрального бойлера. Электрические нагреватели заводской установки, при их доступности, обеспечивают еще большую экономию.
- 2. Экономия пространства,** обычно занимаемого бойлером, за счет ликвидации бойлерной.
- Выгода собственника и пользователя за счет **повышения надежности** системы децентрализованных нагревателей; нагрев не прекращается ни с отказом компрессора, ни с отказом бойлера.
- Система обеспечивает **большую электрическую диверсификацию**, поскольку, при падении



температуры в контуре, индивидуальные устройства, сохраняющие энергию, переключаются, случайным образом, от нагрева тепловых насосов на электронагрев.

5. **Увеличение срока службы компрессора** за счет сокращения времени годовой эксплуатации.
6. **Может быть снижена стоимость резервного насоса** за счет ликвидации потребности в нем, поскольку, при отказе насоса, который не создает больших проблем летом, нагревание не прерывается.
7. **Преобладает сохранение энергии**, как в традиционной водяной теплонасосной установке, поскольку автоматическое переключение от нагревания в режиме теплового насоса на электронагрев происходит только в случае, когда возвратное тепло, хранящееся в системе, меньше, чем требуемое количество тепла для обогрева периметра. Применение системы без бойлера не вносит потерь в сохранение энергии, присущее водяной теплонасосной установке.
8. **Уменьшение производительности оборудования** может соответственно пригодиться в применениях с большими теплотерями, также снижая первичные затраты.

D. Системный «стартер»

1. Системы, работающие в условиях холодного климата, с расположенным снаружи охладителем воды (теплоотвод), требуют небольшого электрического водонагревателя мгновенного действия, для компенсации теплотерь через охладитель (величина этой потери варьируется в соответствии со степенью подготовленности к работе в зимних условиях, обеспечиваемой при установке охладителя).
2. Подбор «стартера», в соответствии со степенью подготовленности к работе в зимних условиях, обеспечиваемой при установке градирни, описан в Главе 1, Этап проекта N-9, стр. 20.

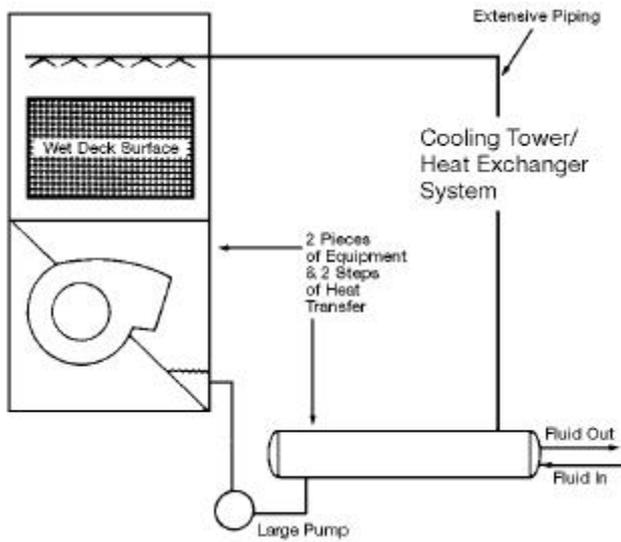
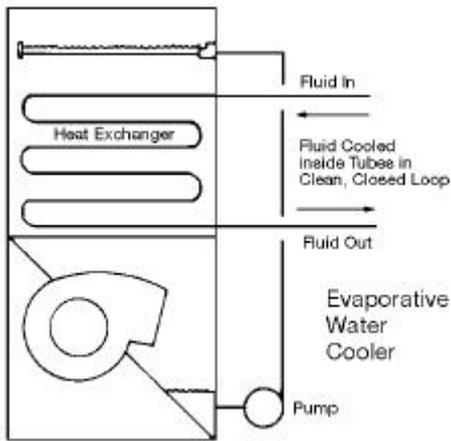
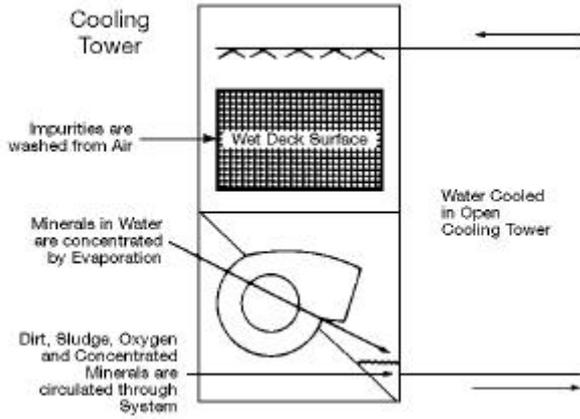
Глава 3. Варианты систем

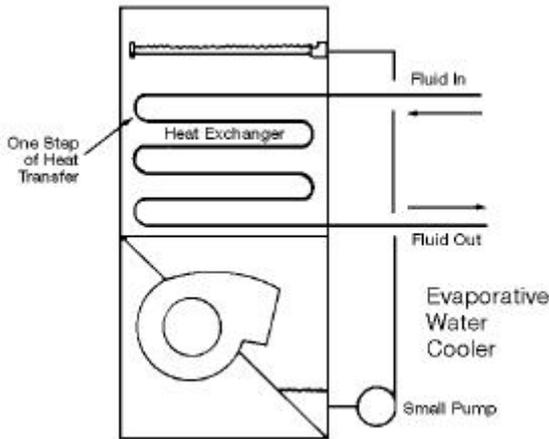
A. Варианты теплоотвода

В случае, когда в замкнутом контуре нужно отводить тепло, обычно применяют градирню. Как показано ниже, сравнение с другими методами теплоотвода оправдывает выбор такого дорогого агрегата:

1. **Открытые градирни** работают по принципу охлаждения путем испарения, как и рассмотренные выше градирни, однако, открытые градирни отличаются тем, что циркулирующая вода в них непосредственно контактирует с воздушным потоком. При таком методе из воздуха «вымываются» примеси, вызывая загрязнение охлаждающей воды. Открытые градирни уменьшают потребление охлаждающей воды на 95% по сравнению с системами с закрытой циркуляцией, но они не исключают проблемы образования накипи и коррозии. Фактически, эти проблемы усиливаются, так как испарение циркуляционной воды приводит к повышению концентрации примесей в воде. Кроме того, сильно аэрированная вода в открытой градирне увеличивает опасность коррозии.

В градирне с теплообменником исключается образование накипи и загрязнение оборудования в процессе охлаждения, поскольку здесь охлаждаемая жидкость циркулирует в чистой и замкнутой системе, вместо открытой системы.





Подписи к рисунку:

<p>Cooling Tower Impurities are washed from air Wet Deck Surface Minerals in water are concentrated by evaporation Dirt, Sludge, Oxygen and concentrated Minerals are circulated through System Water cooled in Open Cooling Tower Fluid in Heat Exchanger Fluid cooled inside Tubes in Clean, Closed Loop Fluid out Evaporative Water Cooler Pump</p>	<p>Градирня Примеси вымываются из воздуха Мокрая поверхность При испарении растет концентрация минералов в воде Грязь, осадок, кислород и концентрированные минералы циркулируют в системе Вода охлаждается в открытой градирне Входящая жидкость Теплообменник Вода, охлажденная в трубах чистого, замкнутого контура Выходящая жидкость Водяной охладитель-испаритель Насос</p>
--	---

1. **Теплообменник/Градирня:** Комбинация двух типов оборудования – градирни и отдельного теплообменника – может обеспечить повышение эффективности эксплуатации системы, совместно с преимуществами в обслуживании градирни в замкнутом контуре. Вода после градирни циркулирует в открытом контуре с одной стороны теплообменника, а технологическая жидкость из охлаждаемого оборудования циркулирует в замкнутом контуре с другой стороны. Градирня с замкнутым контуром объединяет градирню и теплообменник в едином блоке, обеспечивая тем самым некоторые технические и экономические преимущества для районов с умеренными зимними температурами. Однако для низких зимних температур и когда низкие температуры держатся несколько месяцев (условия характерные для средней полосы России) использование градирнен с замкнутым контуром становится нецелесообразным и системы с комбинацией пластинчатый теплообменник / градирня становятся предпочтительными. В таких системах в порядке подготовки к зиме можно слить воду в контуре градирни, не затронув основной контур тепловых насосов. Регулирование температуры подающей воды в таких системах может быть осуществлено при помощи частотного преобразователя, установленного на насосе контура градирни, либо на вентиляторе. Датчик температуры подключается к контроллеру, который, в свою очередь, формирует сигнал на частотный преобразователь таким образом, чтобы поддерживать нужную температуру. (см. Рисунок) **Рис. # 3**

Схема содержит зимние задвижки и сливные клапана. Участки труб между зимними задвижками и градирней могут быть выполнены из ПВХ. Такая схема позволяет сливать воду на зиму из градирни и из труб, расположенных наруже. Теплообменник и насос остаются заполненными и не подвергаются коррозии.



Подписи к рисунку:

Extensive Piping	Протяженный трубопровод
Cooling Tower/Heat Exchanger System	Градирня/теплообменник
Wet Deck Surface	Мокрая поверхность
2 Pieces of Equipment & 2 Steps of Heat Transfer	Два устройства и две фазы теплопередачи
Large Pump	Большой насос
One Step of Heat Transfer	Одна фаза теплопередачи
Heat Exchanger	Теплообменник
Small Pump	Небольшой насос
Evaporative Water Cooler	Охладитель-испаритель

Исключить рисунок из основного текста, касающийся градирен открытого типа и заменить его своим рисунком.

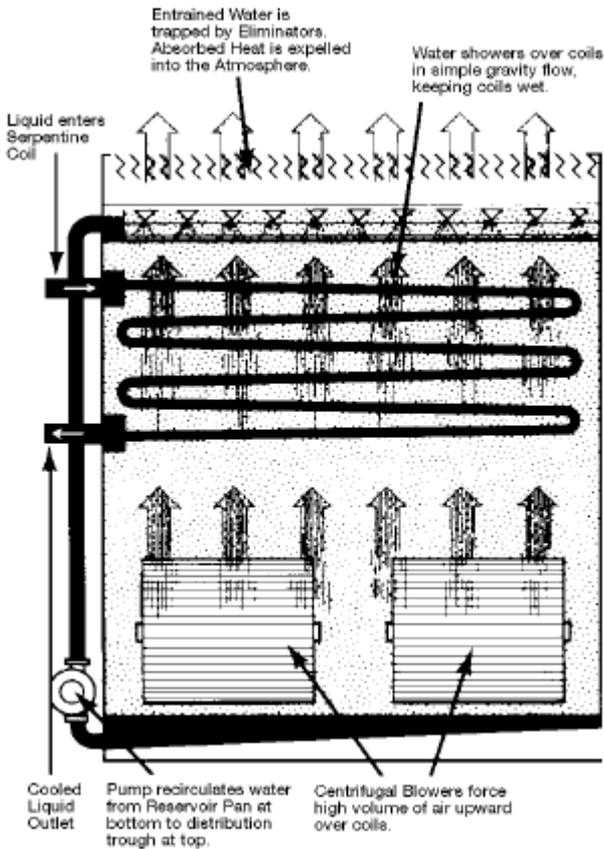
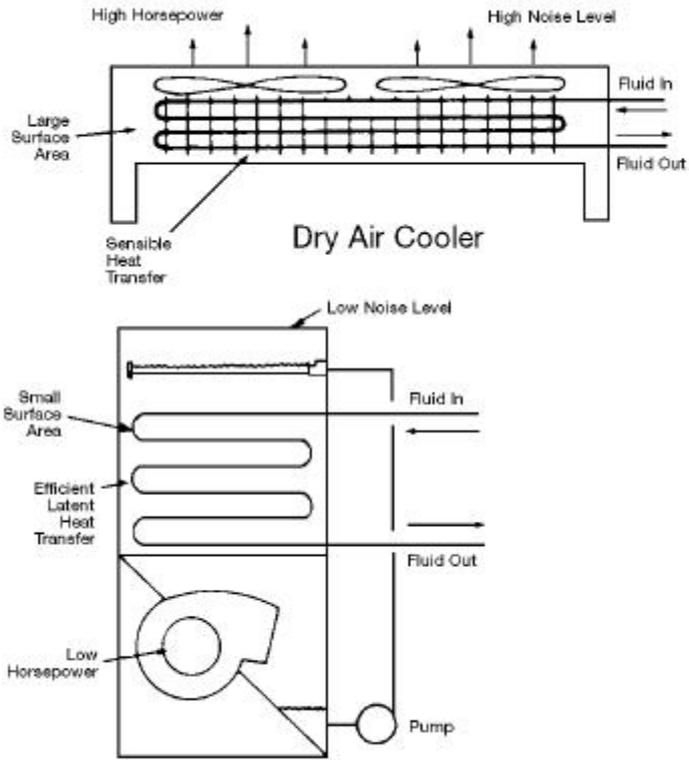
3. **Суховоздушные охладители** могут обеспечить охлаждение в замкнутом контуре, но не используют преимуществ энергосбережения при охлаждении путем испарения. Характеристики суховоздушных охладителей, обычно состоящих из теплообменника из оребренных труб и нескольких вентиляторов, определяются фактической теплопередачей, тогда как характеристики охладителей-испарителей определяются более эффективной латентной теплопередачей.

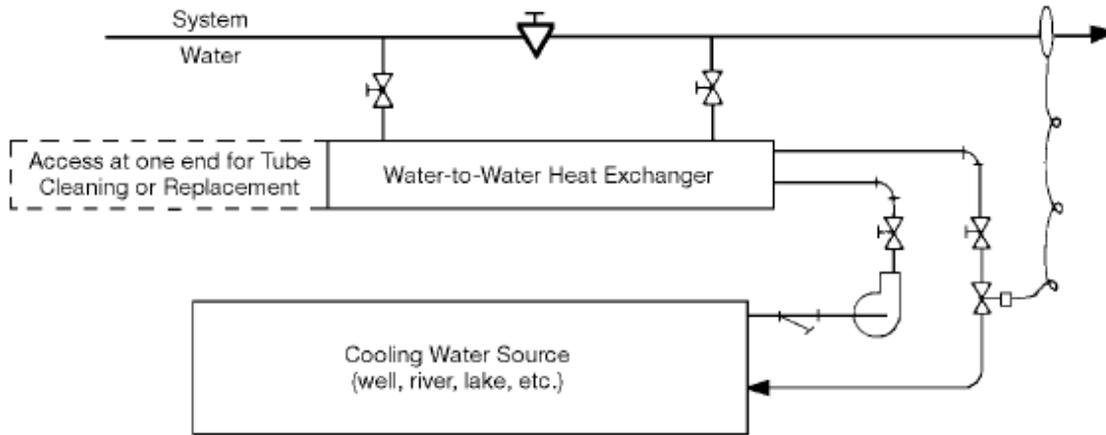
Согласно принципу охлаждения путем испарения, охладитель-испаритель может охлаждать жидкость в пределах нескольких градусов от температуры смоченного термометра. В системе воздушного охлаждения, реально охлаждать в пределах 8°C – 11°C по шкале сухого термометра. Поскольку проектные температуры смоченного термометра обычно ниже проектных температур сухого термометра на 8,3°C – 11 °C, охлаждение путем испарения предоставляет возможность охлаждать на 19°C.

Применение охладителей-испарителей имеет дополнительные преимущества по сравнению с применением оборудования воздушного охлаждения:

- Меньшая поверхность теплообменника, требуемая для охлаждения равных нагрузок, обычно ведет к снижению суммарных инвестиционных затрат.
- Уменьшение потребного объема воздуха приводит к снижению энергопотребления вентиляторами. Уменьшение воздушного потока также ведет к снижению уровня шума, что является явным достоинством в помещениях, где требуется выполнять строгие требования к уровню шума.
- Охладители-испарители требуют меньше пространства, а компактная конструкция обеспечивает большую гибкость в размещении.
- Если имеется удобный источник воды, обеспечивающий ее достаточное количество для требуемого теплоотвода, подрядчики могут предложить теплообменник на грунтовых водах. Использование водоводяного теплообменника позволяет уменьшить затраты на первичную установку и на эксплуатацию.

Обычными источниками теплоносителя являются скважины, реки, озера или океаны. Проведение анализа качества и количества воды-теплоносителя обеспечивает применение надлежащих материалов для теплообменника и учет степени загрязнения при выборе типа устройства.





Подписи к рисункам:

High Horsepower	Высокая мощность
High Noise Level	Высокий уровень шума
Large Surface Area	Большая площадь теплообменника
Sensible Heat Transfer	Явная теплопередача
Fluid In	Входящая жидкость
Fluid Out	Исходящая жидкость
Dry Air Cooler	Суховоздушный охладитель
Low Noise Level	Низкий уровень шума
Small Surface Area	Малая площадь теплообменника
Efficient Latent Heat Transfer	Эффективная латентная теплопередача
Low Horsepower	Низкая мощность
Entrained Water is trapped by Eliminators	Капли в воздухе задерживаются
Absorbed Heat is expelled into the Atmosphere	Поглощенное тепло выбрасывается в атмосферу
Water showers over Coils in simple gravity flow, keeping coils wet	Вода омывает теплообменник самотеком, поддерживая их мокрыми
Liquid enters Serpentine Coil	Жидкость поступает в теплообменник
Cooled Liquid Outlet	Выход охлажденной жидкости
Pump recirculates water from Reservoir	Насос перекачивает воду из нижнего поддона
Pan at bottom to distribution trough at top	в верхний распределительный лоток
Centrifugal Blowers force high volume of air upward over coils	Центробежные вентиляторы перегоняют большие объемы воздуха через теплообменник
System Water	Вода в системе
Access at one end for Tube Cleaning or Replacement	Односторонний доступ к трубе для очистки и замены
Water-to-Water Heat Exchanger	Водоводяной теплообменник
Cooling Water Source (well, river, lake, etc.)	Источник охлаждающей воды (скважина, река, озеро, и т.п.)

В. Накопление энергии в оборудовании

Увеличение массы воды в замкнутом водяном контуре улучшает характеристики сохранения энергии в водяной теплонасосной установке. Дополнительная масса в низкотемпературном последовательном резервуаре действует как теплоотвод, путем поглощения всей избыточной энергии, произведенной внутри здания. И, наоборот, масса действует как источник тепла для ночного обогрева здания.

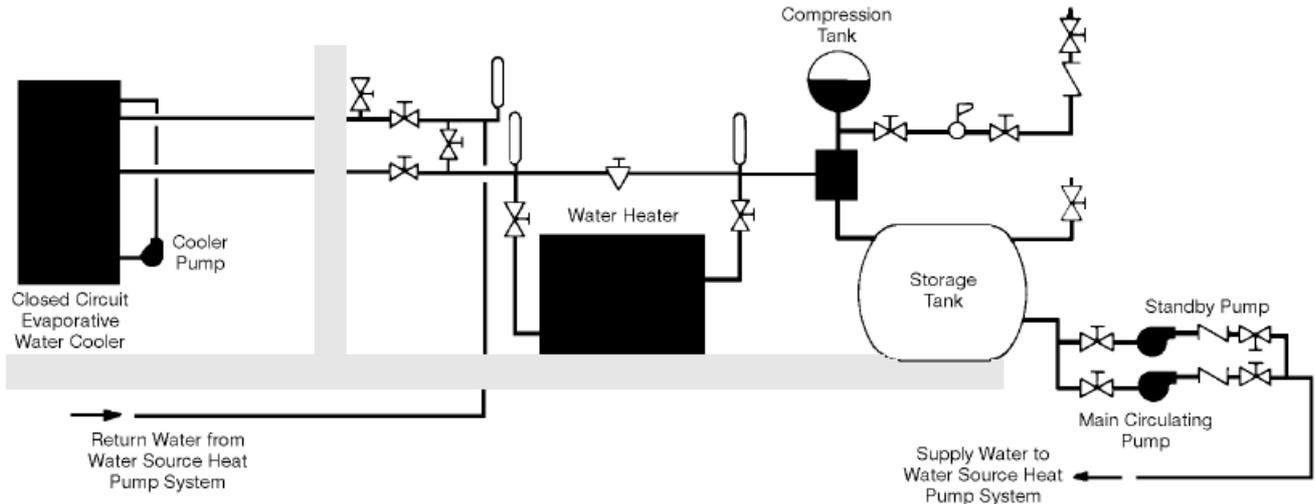
1. **Низкотемпературный бак-накопитель** – Низкотемпературный бак-накопитель уменьшает

требования к годовой мощности дополнительного водонагревателя и охладителя-испарителя, а также выравнивает потребление электроэнергии.

Теоретически, соответствующее увеличение накопленной энергии устраняет потребность в добавлении тепла или в теплоотводе в районах с умеренным климатом. Накопление тепла, отведенного во время летней эксплуатации, может обеспечить источник тепла в зимний период. Такой подход ведет к чрезмерным требованиям к размеру бака-накопителя, естественным образом ограничивая возможности проектировщиков.

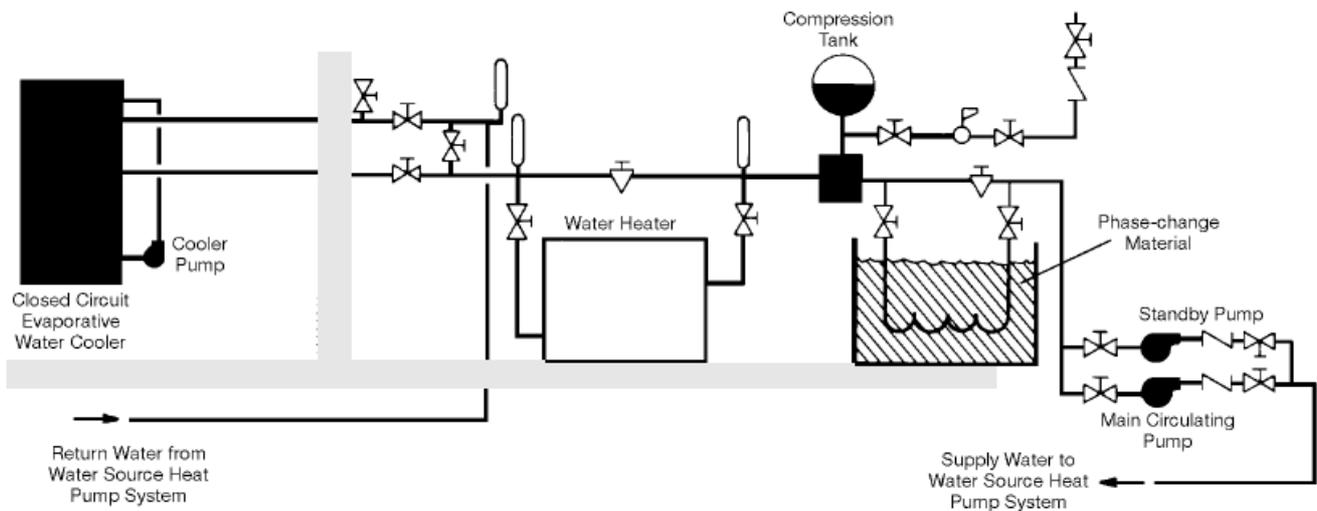
Практический выбор размера бака-накопителя не позволяет экономить на выборе дополнительного котла или устройства теплоотвода. Погодные условия иногда делают необходимой работу этих устройств с полной производительностью.

Включение водонагревателя в накопитель тепла экономит пространство и удешевляет установку.



2. Бак-накопитель с фазовым переходом — В вышеописанном низкотемпературном баке-накопителе применены явные средства для накопления тепла, повышающие или понижающие температуру аккумулирующей среды. Изменяя физическое состояние накапливаемой среды, от твердого до жидкого, или наоборот, можно осуществлять более эффективное аккумулирование.

Накопление тепла посредством фазового перехода обеспечивает компактную альтернативу, поскольку теплота плавления большинства материалов намного превосходит удельную теплоемкость. Объем бака-накопителя с фазовым переходом для водяной теплонасосной установки составит только одну пятую от объема водяного бака эквивалентной накопительной емкости.





Подписи к рисункам:

Compression Tank	Бак подпора
Cooler Pump	Насос градирни
Closed Circuit Evaporative Water Cooler	Градирня с замкнутым контуром
Water Heater	Водонагреватель
Storage Tank	Бак-накопитель
Return Water from Water Source Heat Pump System	Возвратная вода от водяной теплонасосной установки
Standby Pump	Резервный насос
Main Circulating Pump	Основной циркуляционный насос
Supply Water to Water Source Heat Pump System	Подача воды в систему
Phase-Change Material	Теплоноситель с фазовым переходом

Бак-накопитель с фазовым переходом состоит из открытого, негерметичного резервуара (наполненного на 95%), содержащего гексагидрат хлористого кальция ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), специально добавленного для ограничения переохлаждения (охлаждения ниже точки замерзания, без замерзания). Теплообменник с медной петлей, погруженный в этот резервуар, обеспечивает передачу тепла от воды в петле к накапливаемой среде, или наоборот. Через теплообменник может проходить вся, или часть воды в контуре.

Бак-накопитель с фазовым переходом может также включать электронагревательные элементы, для получения и накопления внепиковой или мало расходуемой тепловой энергии.

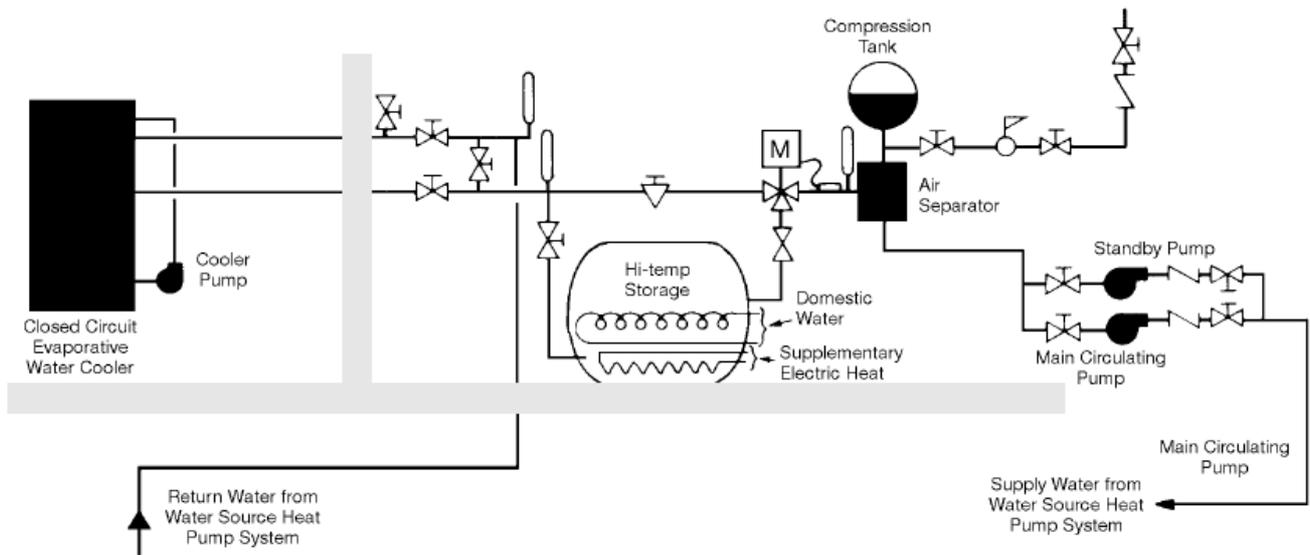
Сравнение характеристик воды и $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ показывает преимущества латентного накопления перед явным.

3. Высокотемпературное накопление — Преимущества высокотемпературного накопления выявляются при нескольких условиях: высокий уровень потребления электроэнергии, высокая тепловая нагрузка (более 5000 градусо-дней), значительное потребление местной горячей воды, существующая или предполагаемая структура дневной энергоподачи, или определенные сочетания указанных факторов.

Электрическая энергия, полученная как внепиковая, или в периоды малого расхода, поднимает температуру в баке-накопителе до 85°C . Бак подключен в параллель с замкнутым водяным контуром, что требуется для поддержания минимальной температуры в контуре.

Коммерческие устройства обеспечивают накопление при температуре до 138°C , и они могут экономить пространство, а также обеспечивают дополнительную экономию затрат на установку. Однако, высокотемпературные накопительные устройства не поглощают всю избыточную тепловую энергию, произведенную в здании, и это увеличивает годовое время работы, по сравнению с низкотемпературным накоплением.

Для определенных проектов лучше всего подойдет сочетание методов высокотемпературного и низкотемпературного накопления.



Подписи к рисунку:

Compression Tank	Подпорный бак
Cooler Pump	Насос градирни
Closed Circuit Evaporative Water Cooler	Градирня с замкнутым контуром
Hi-temp Storage	Высокотемпературный накопитель
Domestic Water	Питьевая вода
Supplementary Electric Heat	Дополнительный электронагреватель
Air Separator	Воздушный сепаратор
Return Water from Water Source Heat Pump System	Возвратная вода от водяной теплонасосной установки
Standby Pump	Резервный насос
Main Circulating Pump	Основной циркуляционный насос
Supply Water to Water Source Heat Pump System	Подача воды в систему

4. Определение параметров накопления — Вообще говоря, не существует эмпирического правила для определения параметров системы накопления энергии. Выбор характеристик накопительного устройства представляет собой компромисс, учитывающий:

- Стоимость электроэнергии (а также предполагаемые будущие затраты); в частности, потребляемая нагрузка.
- Имеющееся пространство.
- Назначение здания.

Возвращение системы в нормальный режим после периода ночного падения сильно влияет на электрическую нагрузку. В периоды прогрева или охлаждения здания, все терминальные устройства тепловых насосов работают, при этом требуется, чтобы водяной контур либо подавал им суммарную теплоту поглощения (при нагреве), либо поглощал их суммарный теплоотвод (при охлаждении).

Наиболее распространенные водяные теплонасосные установки имеют массу воды в установленном оборудовании от 11,7 до 13 кг на номинальный kW. Эта масса содержится в компонентах системы и в соединительных трубопроводах.

Если температура воды равна 32,2°C, и система начинает утренний запуск в режиме нагревания, в зависимости от продолжительности ночного перерыва (величина температурной



инерции увеличивается в зависимости от продолжительности ночного перерыва) и от наружной температуры, принимая, что на приведение здания к рабочей температуре требуется 1,5 часа работы терминальных устройств; энергия, накопленная в основном водяном контуре будет израсходована через 16 минут ($\Delta T = 16,7^\circ\text{C}$)*

* $16,7^\circ\text{C} \times 45000 \text{ г воды} = 751500 \text{ кал} = 3150 \text{ кДж накопления}$

$(3150 \text{ кДж накопления} / 3,2 \text{ kW поглощения}) / 60 \text{ сек/мин} = 16,4 \text{ мин}$

В оставшиеся 74 минуты, потребуется добавление в контур дополнительного тепла, в количестве, равном суммарной теплоте поглощения всех тепловых насосов. В этот период, система работает с КПД, равным 1,0. Полная работа нагревателя в этот период увеличивает энергопотребление и нагрузку, и добавление к накоплению может в итоге устранить или минимизировать это явление.

Когда в здании установится рабочая температура, большую часть времени происходит одновременное нагревание и охлаждение. Действительно, зимой во многих современных зданиях в рабочее время имеет место чистое охлаждение, а в нерабочее время – чистое нагревание. Накопительная система ночью и во время утреннего нагревания обеспечивает использование избыточного тепла, произведенного в дневное время.

Из-за сложного взаимодействия между компонентами системы, только компьютерная программа обеспечивает практический метод анализа влияния накопленной массы на работу системы. Проектировщик должен решить, каких преимуществ следует ожидать от добавления к накоплению, и произвести пробный выбор для компьютерной оценки и сравнения.

Допустимая конфигурация системы включает сочетание высокотемпературных и низкотемпературных методов накопления.

5. **Методика** — Для определения оптимального количества накопленной энергии:

- a) Определите количество тепла, требуемое для повышения температуры в здании до рабочей величины после ночного перерыва, в зимних условиях. Заданные условия:
 - 1) Вентиляция отключена.
 - 2) Освещение, лифты, оборудование и рабочие помещения работают в ночном режиме, и т.д.
- b) Разделите полученную величину на суммарную производительность всех устройств тепловых насосов, в Btuh или kW.
- c) Умножьте полученное частное на 60, чтобы определить количество минут, требуемое для приведения здания к рабочей температуре.
- d) Разделите величину суммарного тепла поглощения всех устройств тепловых насосов на 60, и умножьте частное от деления на количество минут работы, полученное в пункте (c). Результатом будет количество энергии в кДж, требуемое от системы накопления, для избежания запуска водонагревателя во время утреннего запуска.
- e) Определите количество тепла, требуемое для поддержания температуры в здании в ночное время, и умножьте на 0,65. Результатом будет количество энергии в кДж, требуемое от системы накопления, для избежания запуска водонагревателя во время ночного прогревания.
- f) Определите, существует ли количество энергии, рассчитанное в пунктах (d) и (e), как избыток в результате дневной работы системы, (или эту энергию необходимо получать): **накапливаемое тепло** из внутренней зоны теплоотвода, за вычетом тепла, переносимого во внешние зоны в дневное время.
Примечание 1: $A^1 H_r = H_r + \Delta H + A$
Для максимального накопления, $H_R = 0$
Тогда, $A = A^1 H_r - \Delta H$
И, $\Sigma A = TD (A^1 H_r - \Delta H) = \text{тепло, переносимое в бак}$
- g) Если *произведен* достаточный избыток тепла в дневное время, определите размер бака, способного поглотить и хранить эту энергию.
- h) Если в здании недостаточно места для размещения бака, имеющего размер, определенный в



пункте (g), есть несколько вариантов:

1) Обеспечить накопление только для утреннего запуска:

$$\text{Размер бака-накопителя (в литрах)} = \frac{\kappa_{Дж}(d) + \kappa_{Дж}(e)}{4,15 \times \Delta T (^{\circ}\text{C})}$$

или

2) Обеспечить высокую температуру в баке-накопителе, который, вследствие более высокого значения ΔT , будет меньше в размерах:

$$\text{Размер бака-накопителя (в литрах)} = \frac{\kappa_{Дж}(d)}{4,15 \times \Delta T (^{\circ}\text{C})^*}$$

* ΔT может доходить до 67°C , если температура в баке повышается ночью за счет внепиковой энергии.

или

3) Сделать все, что можете, так как любое увеличение общей энергоемкости системы сокращает годовые эксплуатационные расходы, и улучшает соотношение цена/качество (если только не установить слишком большой бак, согласно пункту (g)).

Глава 4. Водоподготовка

Очистка, промывка и химическая обработка систем водяных теплонасосных установок имеют важнейшее значение для эффективной эксплуатации и срока службы систем.

Главные требования к водоподготовке*

В нижеследующей таблице показаны основные преимущества замкнутых систем теплонасосных установок:

	Прямоточная система	Открытая рециркуляция	Замкнутая рециркуляция
Контроль за образованием отложений	1. Применение поверхностно-активных веществ, например, полифосфатов. 2. Добавление кислоты. 3. pH-корректировка. <i>Другие меры:</i> Контроль степени загрязнения Контроль поверхностной температуры Контроль температуры воды Очистка системы	1. Регулирование на сливе. 2. Применение поверхностно-активных веществ, например, полифосфатов. 3. Добавление кислоты. 4. pH-корректировка. 5. Смягчение <i>Другие меры:</i> Контроль степени загрязнения Контроль поверхностной температуры Контроль температуры воды Очистка системы	Не требует контроля.



Контроль коррозии	1. Применение ингибиторов коррозии высокой концентрации (от 200 до 500 промилле). 2. Применение ингибиторов коррозии низкой концентрации (от 20 до 80 промилле). 3. Контроль pH. 4. Применение надлежащих конструкционных материалов.	1. Применение ингибиторов коррозии высокой концентрации (от 200 до 500 промилле). 2. Применение ингибиторов коррозии низкой концентрации (от 20 до 80 промилле). 3. Контроль pH. 4. Применение надлежащих конструкционных материалов.	Применение ингибиторов коррозии высокой концентрации. Применение надлежащих конструкционных материалов.
Контроль слизи и водорослей	Применение хлорированных фенолов. Применение других бактерицидов. Хлорирование гипохлоритом или жидким хлором.	Применение хлорированных фенолов. Применение других бактерицидов. Хлорирование гипохлоритом или жидким хлором.	Не требует контроля.

* В водяной системе не должно быть абразивов, а максимальная скорость не должна превышать значений, приведенных в Главе 1.

Огромное разнообразие качества воды в разных районах страны делает невозможной рекомендацию относительно наилучшего метода водоподготовки. Получите конкретные рекомендации по осуществлению водоподготовки на местном водоочистном предприятии. В настоящем пособии приведены самые общие методы водоподготовки для следующих систем:

1. Теплонасосные установки с замкнутым контуром (замкнутая рециркуляция).
2. Котел с замкнутым водяным контуром, отделенный от теплонасосной установки с помощью теплообменника.
3. Электрический бойлер, использующий ту же воду, которая циркулирует в устройствах водяных тепловых насосов.
4. Система с открытой рециркуляцией (замкнутая градирня с поддоном).
5. Прямоточная система (только охлаждающие устройства).
6. Замкнутая рециркуляция, отделенная от устройств водяных тепловых насосов с помощью теплообменника.

Проблемы с водой подразделяются на три основные категории:

1. **Образование накипи** — минеральные отложения, образующиеся в результате кристаллизации или выпадения солей, растворенных в воде. Отложения создают изоляционный слой, уменьшающий степень теплопередачи, и затрудняющий циркуляцию жидкостей из-за повышения перепада давлений.
2. **Коррозия** — разложение металла, вызванное поглощением газов из воды и воздуха. Коррозия может происходить в любом металлическом компоненте системы.
3. **Образование органических загрязнений** — слизь и водоросли, которые образуются при определенных условиях окружающей среды, и могут уменьшать степень теплопередачи, посредством формирования изоляционного слоя, а также могут способствовать развитию точечной коррозии.

Характеристики воды: Компоненты воды, или содержащиеся в воде примеси, могут быть



классифицированы на растворённые в воде вещества, жидкости, или газы, а также взвеси. Фильтрация удаляет взвеси, но не растворенные вещества. Выявление возможных проблем требует проведения анализа источника воды, наряду с оценкой температур в системе. Характеристиками воды, представляющими важность для учета в нашем случае, являются:

1. **Водородный показатель (pH)** — произвольный символ, используемый для выражения степени кислотности или щелочности. Нейтральная вода имеет pH, равный 7,0. Значения выше $7,0 \div 14,0$ в большей мере относятся к щелочности, а значения ниже $7,0 \div 0$ — к кислотности. Показатель pH ниже 7,0 способствует развитию коррозии оборудования. В воде с высоким pH (выше $7,5 \div 8$), более активно образуются кальциево-карбонатные отложения.
2. **Щёлочность** — суммарное содержание в воде карбонатов, бикарбонатов, и гидратных ионов. К щелочности также могут частично добавляться другие ионы, например фосфаты, или силикаты. В общем случае, щелочность определяет способность воды к нейтрализации кислоты. Склонность воды к накипеобразованию определяется прежде всего ее щелочностью.
3. **Жёсткость воды** — Суммарное содержание в воде солей кальция и магния, которое также может включать алюминий, железо, марганец, стронций, или цинк. Измеряется и выражается в промилле (ppm). Карбонаты и бикарбонаты кальция и/или магния способствуют развитию карбонатной жёсткости (временной). Остаточная жесткость, известная как некарбонатная (временная) жесткость, появляется из-за наличия сульфатов, хлоридов, и/или нитратов кальция и/или магния. Из-за того, что растворимость некарбонатной жесткости превышает растворимость карбонатной жесткости примерно в 70 раз, проведение водоподготовки для ликвидации некарбонатной жесткости не столь важно в системах кондиционирования воздуха.

Удельная электропроводность — Мера электропроводности воды, выраженная в мком на кубический сантиметр. Этот показатель характеризует склонность к гальванической коррозии.

Водоподготовка — Все водяные системы и подсистемы с тепловыми насосами требуют проведения водоподготовки. Вид и объем водоподготовки требует оценки количества и типов водяных контуров, конструкционных материалов, температур, и проведения анализа воды. Каждый тип водяного контура требует отдельного подхода.

1. **Проведение первоначальной очистки во всех системах** — Самым важным является проведение первоначальной очистки и промывки. Рекомендуются процедуры, описанные в Справочнике ASHRAE за 1976 год, стр. 15.22.
2. **Системы с замкнутой рециркуляцией** — Такие системы обычно не требуют проведения водоподготовки для предотвращения образования накипи, и применения бактерицидов для контроля за образованием слизи и водорослей.

Системы с замкнутым контуром могут требовать контроля коррозии. Проводимая водоподготовка должна обеспечить защиту от электрохимической коррозии из-за пар «медь-сталь». Используемые методы включают применение:

- a) нитрата натрия, бората, и органических ингибиторов
- b) нитрата натрия, бората, и силиката
- c) контроля pH при высоком содержании хромата
- d) контроля pH и сульфитов
- e) полифосфата и силикатов
- f) контроля щелочности, содержания фосфатов и сульфитов.

Из-за разброса качества используемой воды, трудно высказываться за или против любого метода, однако, при выборе ингибитора следует учитывать токсичность и способность некоторых ингибиторов (в частности, хроматов) оставлять пятна. Свяжитесь с местной водоочистой компанией по поводу соответствующих рекомендаций.

Нитрит-натриевый ингибитор совместим с раствором этиленгликоля, иногда используемого в северном климате или в подсистемах с контурами, использующими солнечную энергию. Следует учитывать первоначальную химическую поляризацию



замкнутых систем, обеспечивая собственника возможностью практического проведения дополнительной водоподготовки, а также проведения контроля и мониторинга указанных систем.

Даже незначительные утечки воды в насосах или штоках клапанов могут потребовать значительной подпитки в течение длительного времени. Такая подпитка осложняет контроль за соответствующей водоподготовкой.

Использование диэлектриков не имеет смысла в хорошо подготовленных системах. Применение соответствующего ингибитора коррозии делает использование диэлектриков излишним, и не приносящим экономии пользователю.

3. **Система с открытой рециркуляцией** — Такая система не рекомендуется к применению в устройствах водяных тепловых насосов. Постоянная зависимость от атмосферных условий повышает склонность этой системы к образованию отложений, коррозии, слизи и водорослей.

На работу и срок службы устройств тепловых насосов, в режимах нагрева и охлаждения, может неблагоприятно повлиять их подсоединение к системе с открытой рециркуляцией.

Если в градирне с замкнутым контуром необходимо предусмотреть отстойник, являющийся системой с открытой рециркуляцией, то потребуются проведение водоподготовки.

Испарение воды снаружи теплообменника может вымывать примеси из воздуха, проходящего через устройство. Концентрация примесей быстро растет, и, если ее не контролировать, может вызвать образование отложений, слизи, или коррозии, уменьшая эффективность охлаждения, или сокращая срок службы оборудования. Концентрацию примесей может ограничивать слив воды из поддона. Для этой цели служит выпускной трубопровод, устанавливаемый на выходе насоса в заводских условиях.

При хорошем качестве воды, скорость слива может составлять половину от скорости испарения. В иных случаях, может потребоваться скорость слива, равная скорости испарения, при диапазоне суммарного потребления воды от 2,60 литра в час на kW 3,89 литра в час на kW.

Экстремальные условия могут привести к сливу, недостаточному для контроля за образованием отложений и коррозии. Обязательной рекомендацией в таком случае является проведение химической обработки воды поддона. При выборе метода обработки должны учитываться: химическая совместимость с оцинкованной сталью, а также поддержание уровня pH в воде поддона от 6,5 до 8,5.

Самым простым способом обеспечения защиты от образования отложений и коррозии, а также контроля за появлением микроорганизмов, является установка автоматической системы введения в резервуар жидких кондиционирующих присадок. Альтернативным методом контроля является размещение в резервуаре соответствующих брикетов, в количестве, пропорциональном расходу воды; при этом способе требуется периодическое добавление указанного материала для поддержания его необходимой концентрации. Выбор подходящего метода водоподготовки требует консультации с соответствующими специалистами, знающими местные условия.

4. **Прямоточная система** — Такая система обычно обслуживает только охлаждающие устройства. Поскольку источником воды в этих системах является городской водопровод, озеро, река, или скважина, их применение в водяной теплонасосной установке неочевидно, хотя, теплоотвод часто предусматривает помещение замкнутого водяного контура в теплообменник прямоточного типа. Гарантии качества в отношении замкнутых контуров и прямоточных систем различаются; подробности уточните в гарантийных документах.

В прямоточной системе может возникнуть проблема образования отложений или коррозии, как правило, имеет место одно из указанных явлений. Если потребуются объемная водоподготовка, экономические соображения могут обусловить принятие крупномасштабных мер и проведение частой очистки оборудования, и/или применение коррозионно-стойких материалов.

Вода из водопровода или из скважины, в отличие от воды из озера или реки, редко создает



проблемы с образованием слизи и водорослей.

Глава 5. Управление тепловыми насосами

А. Типы управляющих систем

Тепловые насосы могут управляться двумя способами:

1. При помощи стандартных, дешевых термостатов. Термостаты, в свою очередь, могут быть механическими либо микропроцессорными. Механические термостаты обеспечивают только управление температурой. Современные микропроцессорные термостаты обычно предоставляют многие дополнительные функции такие как программирование времени работы установки, программирование ночных уставок. В последнее время появились термостаты, которыми можно управлять по Интернету. Термостаты обычно очень просто устанавливать и они довольно просты в настройке. Следует иметь в виду, что для управления тепловыми насосами необходимы специальные термостаты, предназначенные для этих целей.
2. Встроенные, распределенные системы управления. Контроллеры таких систем обычно встраиваются в тепловые насосы и управляют всеми их функциями. Вместо термостата такие системы используют удаленные датчики температуры и, иногда, влажности. Распределенные системы могут быть подсоединены к локальному компьютеру и/или к Интернету. Такое решение позволяет не только гибко и удобно настраивать систему отопления и кондиционирования, но и эффективно мониторить ее локально, либо дистанционно, если используется дистанционное подключение. Распределенные системы управления, являясь более дорогими и сложными, чем системы управления при помощи термостатов, тем не менее быстро окупаются за счет упрощения и удешевления обслуживания и мониторинга.

В. Ночная уставка

Возможность использования стратегии ночных уставок, как указывалось выше, существует как при использовании микропроцессорных термостатов так и распределенных систем. Эта опция обеспечивает максимальную экономию энергии (14 -16%) по сравнению с любыми другими методами. Метод ночных уставок должен включать в себя следующие возможности:

1. Возобновление работы всех установок из центральной точки, если в этом появляется необходимость.
2. Остановку всех установок из той же точки.
3. Старт установок должен быть осуществлен с разбросом по времени для предотвращения больших пиковых нагрузок на электросеть.
4. Выключение установок не должно осуществляться путем отключения электропитания от них. Система управления должна обеспечить минимальные уставки в помещениях в любое время.
5. В тех случаях, когда клиент выбирает опцию постоянной работы вентилятора, система должна выключить эту опцию на ночь.
6. Часто необходимо обеспечить возможность возврата системы в режим нормального функционирования по сигналу от клиента на жестко запрограммированное время, обычно 2 часа.
7. Отключение системы вентиляции помещения или всего здания.
8. Ночное снижение для квартир, общежитий, гостиниц итд требует возможности индивидуального программирования.
9. Для гостиниц целесообразно применять обратную логику: нормальным состоянием должно быть состояние снижения и только по команде система должна обеспечить условие комфорта.

Технология ночных уставок хорошо сочетается с технологией оптимального старта и остановки отопления и кондиционирования. Алгоритмы оптимального старта/остановки подсчитывают когда необходимо стартовать оборудование таким образом, чтобы к заданному времени температура в помещении находилась внутри заданного диапазона или когда можно остановить оборудование так, чтобы температура была на границе заданного диапазона. Эти алгоритмы имеют адаптивный характер. При каждом старте и остановке они подсчитывают ошибки и вводят коррекцию таким



образом, чтобы при следующем пуске/остановке ошибка была меньше. В процессе утреннего старта, все тепловые насосы в здании обычно работают в одном и том же режиме отопления или охлаждения и требуют максимальной мощности центрального оборудования - котла или градирни. Размеры этого оборудования могут быть снижены, если система имеет тепловые низкотемпературные аккумуляторы. В этих аккумуляторах может быть сохранена избыточная энергия дневного функционирования. В условиях функционирования специальных ночных цен на энергию целесообразно предусмотреть высокотемпературные аккумуляторы тепла. Такой подход позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы.

D. Цикл экономайзера

Цикл экономайзера целесообразно инкорпорировать в тепловые насосы, обслуживающие периферийные зоны коммерческих и общественных зданий. Цикл экономайзера может обеспечить очень дешовое охлаждение помещений в условиях, когда энтальпия наружного воздуха ниже энтальпии воздуха внутри помещения. В таких условиях компрессор часто удается отключить. Однако следует принять во внимание то обстоятельство, что в ряде случаев цикл экономайзера нельзя использовать, например, когда установки внешних зон должны поглощать энергию, выделяемую при охлаждении внутренних зон.

На рисунке ниже показана систем экономайзера в состав которой входит центральная вентиляционная установка, поставляющая воздух из вне сразу целому ряду экономайзеров тепловых насосов. Легко заметить, что та же установка обеспечивает вентиляцию помещений. Однако производительность установки, способной обеспечивать режим экономайзера, должна быть существенно больше, поскольку вентиляция обычно требует приблизительно 15% подмеса воздуха.

C. Установка и подключение термостатов.

Термостаты, также как и датчики температуры должны быть установлены в местах, где они могут замерять действительную температуру помещения. В связи с этим необходимо избегать мест, в которых термостат может оказаться в потоке воздуха из установки. Термостаты рекомендуется устанавливать на высоте от пола 152 см. В тех случаях, когда зона, обслуживаемая одной установкой, имеет несколько помещений (комнат), термостат обычно устанавливают в точке, где воздух из всех помещений смешивается перед поступлением в воздухозаборник установки. В случае квартир это обычно прихожие. Необходимо обеспечить беспрепятственное протекание воздуха между комнатами и прихожей. С этой целью между комнатными дверями и полом создается зазор в 20 мм.

Термостаты обычно подключаются к установкам при помощи специальных термостатных кабелей. Отдельные провода этих кабелей обычно имеют стандартную окраску и обозначаются буквами:

R	Red	Красный	24В от трансформатора
Y	Yellow	Желтый	Компрессор
G	Green	Зеленый	Вентилятор
W	White	Белый	Ревверсивный клапан
C	Common	Общая точка (земля)	

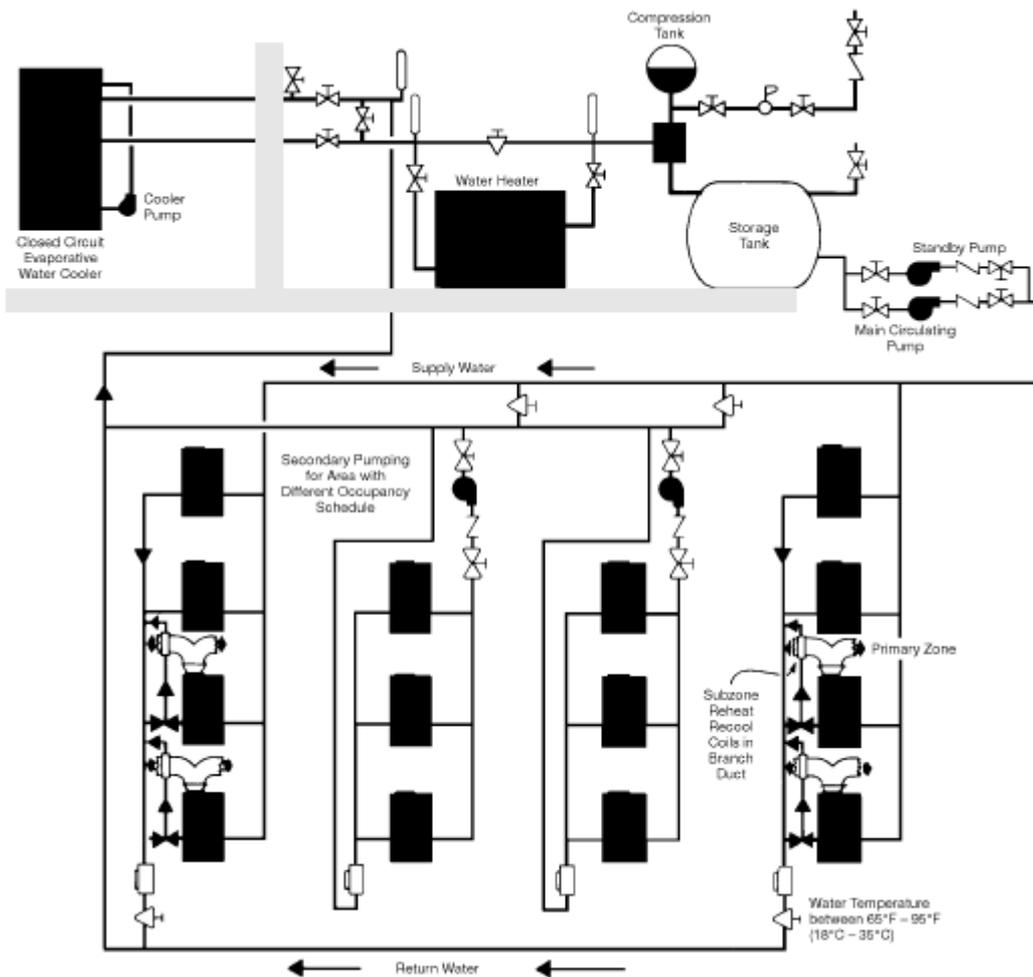
Механические термостаты требуют только четыре провода. Исполнительные устройства (реле) внутри установки постоянно подключены к общей точки и в задачу трансформатора входит замкнуть 24 В на соответствующее исполнительное устройство. Электронные (микропроцессорные термостаты требуют питания (общей точки). Клеммы на установке и на термостате обычно обозначены теми же буквами. Установки мощностью более 18 кВт имеют два компрессора. В этом случае клеммы первого и второго компрессоров обозначаются Y1, Y2. Если имеется дополнительный электрический нагреватель, его клемма будет обозначена W2. Существуют термостаты для всех указанных комбинаций.

Глава 6. Различные замечания к проектированию

A. Система с первичным и вторичным контурами. В зданиях, имеющих зоны с различной цикличностью функционирования — офисы, расположенные по периметру, внутренние

помещения, рестораны, и т.д. — система с первичной/вторичной перекачкой может создавать гидравлическую изоляцию в каждой вторичной цепи. В целях снижения эксплуатационных затрат, такая система может отсекают поток во вторичной цепи (например, в центральной части) в нерабочее время. Отсечение такого вторичного насосного контура не должно нарушать работу системной гидроаппаратуры.

Система в водяных теплонасосных установок с первичной и вторичной обвязкой



Подписи к рисунку

Compression Tank	Бак подпора
Cooler Pump	Насос градирни
Closed Circuit Evaporative Water Cooler	Градирня с замкнутым контуром
Water Heater	Водонагреватель
Storage Tank	Бак-накопитель
Supply Water	Питающая вода
Standby Pump	Резервный насос
Main Circulating Pump	Основной циркуляционный насос
Secondary Pumping for Area with Different	Вторичный контур для помещений с



Occupancy Schedule Primary Zone Subzone Reheat Recool Coils in Branch Duct Water temperature between ... Return Water	различными режимами использования Основная зона Вторичная зона теплообменников нагрева и охлаждения в отводном воздуховоде Температура воды между ... Возвратная вода
---	--

В. Отдельные тепловые насосы не требуют **устройств удаления воздуха из трубопроводов**, так как любой воздух будет захватываться, за исключением случаев, когда действующие скорости воды достаточно малы для того, чтобы создавались препятствия работе тепловых насосов. Воздухо сбрасывающие клапана следует устанавливать только в верхних точках системы.

С. **Центробежный насос с прямым приводом** со скоростью 1450 оборотов в минуту, обычно предпочтительнее насоса со скоростью 2950 оборотов в минуту, при спокойном режиме работы. Такой насос следует выбирать для условий функционирования на среднем участке рабочей характеристики.

Д. Выбирайте **расширительный бачок** для температур от 10°C до 43,3°C, объемом примерно в 2% от общего объема воды в системе.

Е. Параллельно с фильтрами обычно следует устанавливать **манометры**.

Ф. Медные и стальные трубы совместимы в замкнутой системе, но не должно быть воздуха в воде.

Г. Небольшой накипью в теплообменнике градирни можно пренебречь. Температура на поверхности труб достигает только 40°C, тогда как обычная температура на поверхности испарительного конденсатора составляет 60°C. Общее годовое время работы также значительно сокращается благодаря сохранению энергии.

Н. Для небольших систем, рассмотрите возможность установки нагревателей, применяемых в плавательных бассейнах, вместо стационарного бойлера.

И. Система с непосредственным возвратом и устройствами контроля потока может хорошо работать, но такие устройства требуют точного выбора и тщательной промывки перед установкой.

Ж. В каждом случае применения трубчатого водоводяного теплообменника убедитесь в том, что вода контура подключена к межтрубной зоне теплообменника, чтобы обеспечивался доступ для очистки внутритрубного пространства, которое склонно к загрязнению.

К. Рассмотрите возможность обеспечения теплообмена питьевой горячей воды с водой контура, для поднятия температуры на 5°C ÷ 11°C), до поступления в местный водонагреватель. В большинстве применений, это является источником «свободного» тепла.

Л. Соблюдайте ограничения по применению продукции, установленные производителем, и запрашивайте рекомендации производителя относительно специальных применений. Например, не следует использовать на открытых площадках оборудование, предназначенного

для внутренних помещений.

М. Водяная теплонасосная система может включать компоненты замкнутого водяного контура, установленные на открытом воздухе. Примером таких компонентов может служить теплообменник градирни с замкнутым контуром, или водяной теплообменник установленного на крыше теплового насоса. В странах с холодным климатом, продолжительные перерывы в электроснабжении могут привести к повреждению, если вода внутри одного из таких компонентов замерзнет.

При проектировании систем, в которых возможно замерзание любой части водяного контура, рекомендуется применять 10%-й раствор антифриза с присадкой. Не следует применять более



высокие концентрации. Концентрация ниже 10% не влияет на рабочие характеристики, однако более высокие концентрации ухудшают работу системы. При концентрации от 35% до 50%, снижение удельной теплоемкости раствора требует увеличения расхода жидкости. Результирующее повышение трения, вызванное *одновременным* увеличением расхода, и более высоким внутренним трением в жидкости, резко увеличивает требуемую мощность прокачки. Снижение теплопроводности гликолевых растворов также приводит к серьезным проблемам в работе устройств тепловых насосов, из-за уменьшения коэффициента теплопередачи.

Хотя 10%-й раствор антифриза не обеспечивает полной защиты от замерзания при температурах ниже -4°C , он продемонстрировал эффективную защиту металлических трубопроводов и теплообменников от физических повреждений при любой температуре. В условиях, способствующих замерзанию, в жидкости образуется снеговая каша, с формированием кристаллов льда. Оставшаяся жидкость имеет повышенную концентрацию гликоля. При формировании ледяной каши, происходит расширение, которое поглощается баком подпрессовки контура, расположенным внутри здания. При воздействии низких температур в течение продолжительного времени, раствор может, в конце концов, загустеть, но с консистенции, подобной кристаллическому мороженому, и только после окончания расширения, которое происходит при замерзании во время образования каши. Теплообменники и трубопроводы, выполненные из таких материалов, как медь или сталь, не были повреждены или деформированы при аналогичном замораживании во время проведения лабораторных испытаний; неизвестно также о подобных повреждениях, произошедших на реальных объектах.

10%-й раствор достаточно хорошо защищает водяные теплонасосные установки вследствие конструкции этих систем и их компонентов. Изогнутость змеевиков, по которым циркулирует вода в системе, позволяет избежать проблем, связанных с расширением жидкости внутри теплообменника. Не существует автоматических клапанов, которые могли бы закрываться, с полным отсечением любого компонента системы, подвергающегося замораживанию. В других системах, с автоматическим клапанным распределением, возможно ограничение расширения при образовании каши, с вероятностью разрушения некоторой части отключенной цепи. Аналогичным образом, неизогнутые змеевики могут вызвать повреждение коллектора, если расширение было ограничено «затором», образованным кашей на входе небольших труб, выходящих из коллектора.

Поскольку ингибиторы играют важную роль, следует избегать применения автомобильных антифризов. Содержащиеся в них ингибиторы могут вступать в нежелательные реакции с другими материалами, или с другими ингибиторами, добавляемыми впоследствии для поддержания необходимой концентрации. Вместо этого, необходимо использовать промышленные составы, например, DOWTHERM SR-1, производства компании «Dow Chemical», или UCAR Thermofluid 17, производства компании «Union Carbide Corporation». В обоих составах в качестве ингибиторов применяются гидрофосфат калия (K_2HPO_4) и медный деактиватор «NaCar». Из-за низкой концентрации этиленгликоля, рекомендуемой для такого применения, количества добавляемого в гликоль ингибитора недостаточно. Следовательно, одновременно с введением в контур этиленгликоля, необходимо добавлять дополнительное количество ингибитора. Справьтесь с Главой 4 относительно водоподготовки в водяных теплонасосных установках.

N. При альтернативном подходе к выбору градирни (когда производитель градирни не указывает данных о суммарной подключенной мощности по отношению к внешней температуре по шкале смоченного термометра) необходимо определить:

1. Количество отводимого тепла
2. Наружную температуру по шкале смоченного термометра
3. Температурный диапазон (разность температур воды на входе и выходе градирни)
4. Фактор приближения (разность между температурой воды на выходе охладителя и проектной наружной температурой по шкале смоченного термометра)
5. Оптимальный расход воды системе

Примечание: В градирне наружная температура по шкале сухого термометра не имеет значения.

Труднее всего понять, как влияет расход жидкости на годовые затраты по эксплуатации системы, в каком диапазоне может колебаться температура воды, и как взаимодействуют эти два показателя.

Терминальные тепловые насосы, работающие в режиме охлаждения, имеют оптимальную температуру конденсации, при которой имеет место максимальная охлаждающая производительность. Более высокая температура конденсации приводит к понижению охлаждающей производительности и к повышению энергопотребления. Однако, в реальной практике не делается попыток обеспечить величину расхода или выбор охладителя, поддерживающие работу терминальных устройств в предельном режиме. Вместо этого, допускается поднятие температуры конденсации до такой величины, при которой количество энергии, требуемое для отвода избыточного тепла, равно потерям в терминальном устройстве; в ином случае температура в контуре продолжала бы подниматься.

Аналогично рассуждая, можно решить обратную задачу и определить оптимальную температуру воды в питающем контуре. Для изменения минимальной температуры в контуре в обратной пропорции к изменениям наружной температуры могут применяться наружные средства регулирования.

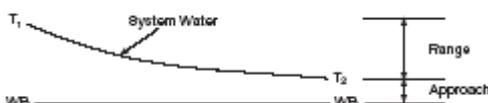
Расход воды в системе также влияет на точки контроля температуры в контуре. Высокий расход теплой воды может обеспечивать приемлемый теплоотвод от терминальных устройств, работающих в режиме охлаждения, однако, та же вода в контуре должна выступать в качестве источника тепла, если в определенных зонах требуется осуществить нагревание. Для терминальных устройств, работающих в режиме нагревания, высокий расход теплой воды может вызвать блокировку устройств температурной защиты компрессора, или рост давления в системе. Циркуляция воды в контуре с высокой скоростью также требует большей мощности перекачки, что приводит к годовому перерасходу энергии.

Низкий расход воды экономит мощность перекачки, а также сужает диапазон, в котором температура воды может колебаться без включения охладителя (градирни) или нагревателя (котла), экономя накопленную в системе энергию.

Для избежания аварийных блокировок и ненадлежащего использования энергии, оборудование должно работать только в границах расхода, рекомендованных производителем. Разработаны критерии оптимального построения системы, учитывающие следующие показатели:

- Годовая наработка системы в расчётном режиме – 5% от времени работы, а с половинной нагрузкой – не менее 75% от времени работы
- Максимальная температура конденсации терминального устройства (охлаждение)
- Минимальная температура конденсации терминального устройства (охлаждение)
- Максимальная нагрузка испарения терминального устройства (нагревание)
- Минимальная нагрузка испарения оконечного устройства (нагревание)
- В большинстве случаев тепловые насосы должны обеспечить как охлаждение так и отопление в любой момент времени.
- Относительная мощность, необходимая для работы оконечных устройств, циркуляционного насоса и устройства теплоотвода.
- Расчетная наружная температура по шкале смоченного термометра

Зная расчетную наружную температуру по шкале смоченного термометра для вашей местности, войдите в таблицу и считайте значения диапазона охлаждения, фактор приближения и расхода относительно суммарной подключенной нагрузки.



Подписи к рисунку:



Руководство по применению тепловых насосов с водяным кольцевым контуром
(для инженеров)

System Water Range Approach	Температура воды в системе Температурный диапазон Фактор приближения
-----------------------------------	--

$\text{Range, } T_1 - T_2 = 9,5^\circ\text{F (5,3}^\circ\text{C)}$
 $\text{Approach, } T_2 - \text{WB} = 14,5^\circ\text{F (8,1}^\circ\text{C)}$
 $T_2 = \text{WB} + \text{approach} = 78 + 14,5 = 92,5^\circ\text{F}$
 $\quad = 25,6 + 8,1 = 33,6^\circ\text{C}$
 $T_1 = T_2 + \text{range} = 92,5 + 9,5 = 102^\circ\text{F}$
 $\quad = 33,6 + 5,3 = 38,9^\circ\text{C}$
 $\text{галлон./мин./л.с.} = 2,45$
 $\text{л/сек/kW} = 0,044$

Расчетная наружная температура °F (°C)	Температура на выходе охладителя °F (°C)	Расход Галлон/мин/тонну (л/сек/kW)	Температурный диапазон охладителя при 75% разбросе °F (°C)	Окружение °F(°C)
65(18.3)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	25.0(13.9)
66(18.9)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	24.0(13.3)
67(19.4)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	23.0(12.8)
68 (20.0)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	22.0(12.2)
69 (20.6)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	21.0(11.7)
70(21.1)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	20.0(11.1)
71 (21.7)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	19.0(10.6)
72 (22.2)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	18.0(10.0)
73 (22.8)	90.0 (32.2)	2.00 (0.036)	11.3(6.3)	17.0 (9.4)
74 (23.3)	90.0 (32.2)	2.04 (0.037)	11.3(6.3)	17.0 (9.4)
75 (23.9)	91.0(32.8)	2.19(0.039)	10.6(5.9)	16.0 (8.9)
76 (24.4)	91.5(33.1)	2.27(0.041)	10.2(5.7)	15.5 (8.6)
77 (25.0)	92.0 (33.3)	2.36 (0.043)	9.8 (5.4)	15.0 (8.3)
78 (25.6)	92.5 (33.6)	2.45 (0.044)	9.5 (5.3)	14.5 (8.1)
79(26.1)	93.0 (33.9)	2.55 (0.046)	9.1 (5.1)	14.0 (7.8)
80 (26.7)	93.5 (34.2)	2.66 (0.048)	8.7 (4.8)	13.5 (7.5)
81 (27.2)	94.0 (34.4)	2.78 (0.050)	8.3 (4.6)	13.0 (7.2)
82 (27.8)	94.5 (34.7)	2.91 (0.052)	8.0 (4.4)	12.5 (6.9)



Так, в системе с 33 тепловыми насосами, с суммарной охладительной производительностью каждого насоса по ARI, равной 15,2 kW, расход равен 22,1 л/сек, температура на входе градирни равна 38,9°C, а на выходе 33,6°C, при расчетной наружной температуре, равной 25,6°C.

Следует учитывать разброс температур в диапазоне. В рассматриваемом примере фактор разброса равен 75%, из чего следует, что 86,6% терминальных устройств работает 86,6% от общего времени работы в расчетном режиме. Разброс в системе *никогда* не бывает равным 100%. Температурный диапазон в каждом работающем терминальном устройстве составляет 5,3°C / 0,75, или 7,1 °C. Если бы выбор градирни производился для 70% разброса (при котором 84% устройств работает 84% от общего времени), диапазон в терминальных устройствах сохранился бы равным 7,1°C. Расход не меняется, но значение диапазона, принятое при выборе градирни, равнялось бы 4,9°C, что соответствовало бы градирни меньшего размера.

При выборе градирни может приниматься допущение о значительных величинах разброса. В очень многих системах градирни чрезмерно велики, что экономически невыгодно. Высокие первоначальные затраты, значительная нагрузка на конструкцию здания из-за увеличенной массы оборудования, и высокие эксплуатационные затраты – все это вызывается выбором избыточной градирни. Предусмотрительному разработчику следует тщательно проанализировать этот вопрос, с учетом средних летних температур, частоты и длительности расчетных режимов, соответствия нагрузки разбросу (охлаждение компьютеров и т.д.), назначения помещений, времени дня, в которое возникает нагрузка, и т.д.

О. Высотные применения — Таблицы и графики для вентиляторов составлены для стандартных атмосферных условий, с температурой 21°C и давлением 760 мм рт. ст.. Если вентилятору приходится работать в нестандартных условиях, порядок выбора должен быть откорректирован. Задавшись производительностью и статическим давлением в рабочих условиях, сделайте следующие корректировки:

1. Для компактных устройств с вентиляторами с регулируемым ременным приводом:
 - a) Возьмите коэффициент плотности воздуха из Табл. 1.
 - b) Рассчитайте эквивалентное статическое давление, путем деления заданного статического давления на коэффициент плотности воздуха.
 - c) Войдите в таблицу характеристик вентилятора для устройства с заданной производительностью и эквивалентным статическим давлением, для получения скорости и эффективной мощности в л. с. Эта скорость является точной по определению.
 - d) Умножьте табличное значение эффективной мощности на коэффициент плотности воздуха, чтобы получить величину эффективной мощности в рабочих условиях.

2. Подача воздуха устройствами с вентиляторами с прямым приводом уменьшается с увеличением высоты и/или с увеличением внешнего статического давления.

Для определения подачи воздуха вентилятором с прямым приводом:

- a) Возьмите коэффициент плотности воздуха из Табл. 1.
- b) Рассчитайте эквивалентное статическое давление, путем деления заданного статического давления на коэффициент плотности воздуха.
- c) Войдите в таблицу характеристик вентилятора для устройства с эквивалентным статическим давлением, для получения величины фактической подачи воздуха в рабочих условиях.
- d) Убедитесь, что величина фактической подачи воздуха не меньше, чем минимальный воздушный поток, указанный производителем теплового насоса.
- e) Рассчитайте влияние фактической подачи воздуха на характеристики устройства, путем применения надлежащего коэффициента, для каталогизации номинального значения. Процентная доля от номинального потока получается путем деления фактической скорости потока в рабочих условиях на номинальное значение скорости потока по каталогу.



Р. Обводная труба градирни для зимнего периода — Обвод градирни для предотвращения теплотерь замкнутого контура в зимний период может оказаться полезным в некоторых разработках. **Не предусматривайте** обвод в проектах с теплоотводом в период рабочего времени в «обычный» зимний день. Применение перепускных клапанов и приборов управления в таких установках снижает надежность системы, и редко бывает выгодным.

Если охлаждающая нагрузка во внутренней зоне системы мала по отношению к нагрузке нагрева в зоне периметра, обвод градирни является целесообразным. Однако:

1. Производители не одобряют применения клапанов с ручным управлением. Практика показала, что эксплуатационный персонал часто бывает не в состоянии восстановить градирню в цепи, если вдруг наступает необычно теплый зимний день.
2. Изолированной жидкости в градирне угрожает замораживание. Дренаж приводит к коррозии теплообменника градирни и разбавляет водоподготовку при пополнении системы.

Раствор антифриза защищает изолированную градирню от замораживания, но создает проблемы с эксплуатацией всей системы, из-за повышения вязкости раствора и ухудшения характеристик теплопередачи.

3. Не рекомендуется применение двухпозиционных трехходовых автоматических байпасных клапанов, если только они не оснащены медленными приводами. Использование таких клапанов приводит к «пробке» холодной воды, вводимой в систему при восстановлении потока через градирню. Термическая реакция приборов контроля системы может вызвать включение дополнительного водонагревателя, и, по мере циркуляции «пробки» холодной воды к терминальным устройствам кондиционирования воздуха, они могут быть заблокированы аварийным выключателем. При использовании обвода градирни и обеспечении должной защиты от замораживания (применения антифриза или дренажа теплообменника градирни) целесообразно применение одного или более автоматических, управляемых трехходовых клапанов. При применении большого количества клапанов, приемлемой альтернативой, возможно, являются медленные двухпозиционные клапаны.

Внимание: В части контура, относящейся к обводу градирни, не должно устанавливаться никаких температурных датчиков приборов управления системы и переключателя потока в системе.

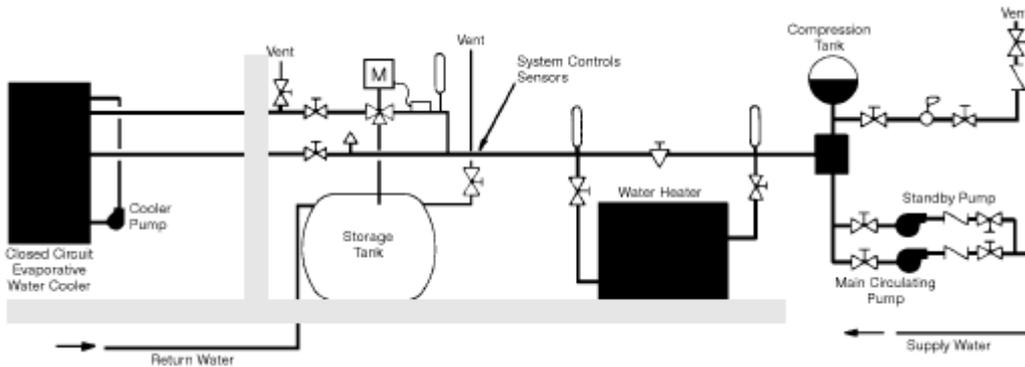
Таблица 1.

Высота в футах (м)	Давление (P _b), в дюймах рт. ст. (мм рт.ст.)	Плотность (d)*, в фунтах /куб. фут (кг/м ³)	Коэффициент плотности
0 (0)	29.92 (760)	0.0748 (1.198)	1.000
500 (152.4)	29.38 (746)	0.0735 (1.177)	.982
1000 (304.8)	28.86 (733)	0.0722 (1.157)	.965
1500 (457.2)	28.34 (720)	0.0709 (1.136)	.948
2000 (609.6)	27.82 (707)	0.0696 (1.115)	.930
2500 (762)	27.32 (694)	0.0683 (1.094)	.914
3000 (914.4)	26.62 (681)	0.0671 (1.075)	.896
3500 (1066.8)	26.33 (669)	0.0659 (1.056)	.881
4000 (1219.2)	25.84 (656)	0.0646 (1.035)	.864
4500 (1371.6)	25.37 (644)	0.0635 (1.017)	.848
5000 (1524)	24.90 (632)	0.0623 (0.998)	.832
5500 (1676.4)	24.43 (621)	0.0611 (0.979)	.817
6000 (1828.8)	23.98 (609)	0.0600 (0.961)	.802

6500 (1981.2)	23.53 (598)	0.0589 (0.943)	.787
7000 (2133.6)	23.09 (586)	0.0578 (0.926)	.772
7500 (2286)	22.60 (574)	0.0565 (0.905)	.756
8000 (2438.4)	22.22 (564)	0.0556 (0.891)	.743

* Плотность при 21°C, $d = C \text{ Pb} / \text{Tabs}$

$C = 0.464$ для Pb (мм Hg), Tabs (°K)



Подписи к рисунку:

Compression Tank	Бак подпрессовки
Cooler Pump	Насос градирни
Closed Circuit Evaporative Water Cooler	Градирня замкнутого типа
Water Heater	Водонагреватель
Storage Tank	Бак-накопитель
Supply Water	Питающая вода
Standby Pump	Резервный насос
Main Circulating Pump	Основной циркуляционный насос
System Controls Sensors	Датчики приборов управления системы
Vent	Воздухо удаляющий клапан
Return Water	Возвратная вода

Q. Управление циркуляционным насосом — Выключение насосов системы, когда кондиционируемые помещения не требуют нагрева или охлаждения, позволяет сохранить значительное количество энергии. Мощность насоса контура обычно составляет примерно 6,5% от суммарной мощности системы. Выключение насосов в период бездействия системы сохраняет примерно 30% потребляемой насосами энергии.

Чтобы не совершить серьезную ошибку простого отключения питания насосов, проектировщики должны предусмотреть схему управления, выполняющую следующие функции:

1. Блокировка работы тепловых насосов, для прекращения работы в период отсутствия потока воды (иначе устройства отключатся на своих аварийных блокировках, вызывая преждевременные отказы и, возможно, анулируя часть гарантии производителя).
2. Автоматический перезапуск насосов (внеплановое управление насосом) в следующих случаях:
 - а) Срабатывание внутреннего термостата, находящегося в наименее благоприятном месте, которое показывает, что поддержание минимальной температуры в помещении требует ночного перерыва; или поддержание максимальной температуры при охлаждении (ночная



уставка).

- b) Срабатывание внешнего термостата показывает, что низкая наружная температура требует работы насоса для предотвращения замораживания наружных частей контура, в частности, градирни.
3. Обеспечение задержки на несколько минут между запуском насоса и запуском тепловых насосов. Когда насосы не работают, части контура могут терять тепло или получать избыточное тепло. При запуске, эти «пробки» холодной или теплой воды могут попасть в тепловой насос и затруднить выход из насоса. Временная задержка «кондиционирует» воду для устранения такой возможности.



Руководство по применению тепловых насосов с водяным кольцевым контуром (для инженеров)



Фирма **FHP (США)**- уже более 30 лет производит геотермальные, тепловые насосы является общепризнанным лидером на рынке. Системы собираются на основе оборудования, прошедшего сертификацию по европейскому стандарту CE и российскому РСТ, что гарантирует полную совместимость с сетями электропитания, безопасность и высокое качество готовых систем.

Продукция включает в себя модельные ряды:



- СЕРИЯ GT «Геотермальная» - вода-воздух, от 2,9 до 20,5 кВт, - для коттеджей;



- СЕРИЯ EM «Экономии энергии» - вода-воздух, от 2,9 до 105,5 кВт, - для промышленного применения;



- Серия WP «Бойлеры» - вода-вода, от 5,3 до 123,1 кВт, - для коттеджей и промышленности;



- Серия CW «Консольного типа» - вода-воздух, от 2,6 до 5,3 кВт для промышленного применения;



- Серия MA «Модульные» - вода-воздух, от 105 до 210 кВт для промышленного применения;

Все серии специально спроектированы для использования при температуре исходной жидкости от – 4 до +44 0С. Это позволяет применять их в условиях резко-континентального климата средней полосы России. Многообразие выбора и удовлетворение желаний заказчика предопределяется гибкостью технологии:

- по мощности от 2,9 до 210 кВт. (суммарная мощность - без ограничений в связи с модульной конструкцией).
- по типу теплоносителя вода-воздух, вода-вода.
- по конструкции - вертикальные, противоточные, горизонтальные.
- по материалу теплообменников тепловых насосов - медь, мельхиор.
- по системам управления – автономные, централизованные.
- по типу грунтовых теплообменников – открытая и закрытая петля.
- по конструкции грунтовых теплообменников – вертикальные, горизонтальные, для водоемов.