

Испарительное охлаждение



CAREL

Испарительное охлаждение лежит в основе одной из самых первых придуманных человеком систем охлаждения пространства, где охлаждение воздуха происходит за счет естественного испарения воды. Все мы замерзнем, если встанем мокрыми на ветру: это происходит потому, что влага с нашей кожи быстро испаряется, поглощая тепло нашего тела.

То же самое происходит и с воздухом, в котором распыляется вода: он будет охлаждаться за счет испарения воды. Такой способ охлаждения используется и в наше время в современных системах кондиционирования воздуха, обеспечивающих высокую холодопроизводительность наряду с низким электропотреблением, причем электричество расходуется только для поддержания процесса испарения воды (по сути, электроэнергия используется только насосом, распыляющим воду). Следовательно, испарительное охлаждение получается экономически более выгодным, чем широко используемые традиционные технологии.

В данной брошюре, предназначенной для технических специалистов, занимающихся проектированием систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, рассмотрены различные способы применения испарительного охлаждения и подчеркнуты достигаемые в каждом случае преимущества как с точки зрения сокращения электропотребления, так и климатических особенностей в зависимости от географического положения.

Для того чтобы эта книга появилась в свет, компания CAREL вложила много средств и труда, однако все это было сделано с верой в то, что ее партнеры смогут воспользоваться этими знаниями и они помогут им сделать шаг вперед на рынке.

Испарительное охлаждение

Translation: LLC Ellada



© Март 2013 г., CAREL INDUSTRIES S.p.A., via dell'Industria 11, 35020 Brugine (PD), Italy www.carel.com

Все права сохранены. Запрещается тиражирование и распространение настоящего документа в любом виде, включая бумажные и электронные копии, а также через информационные и поисковые системы без письменного разрешения компании CAREL INDUSTRIES S.p.A.

Опубликовано компанией CAREL INDUSTRIES S.p.A.
Отпечатано в типографии Московский Печатный Двор, Москва.
Подано в тираж в марте 2013 г. Код BOOKUMI02R вер. 1.0
Отпечатано в Россия
Не предназначено для продажи

Предисловие

Самые передовые технологические достижения зачастую основаны на простых явлениях, которые всегда можно найти в природе.

“Адиабатическое испарение” – это физический процесс, при котором вода превращается в пар, распределяющийся в воздухе и повышающий его влажность. Поскольку данный процесс происходит без внешнего источника энергии (именно это и означает слово «адиабатический»), тепло, необходимое для испарения воды, берется из воздуха, который, соответственно, становится холоднее.

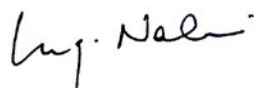
Данное явление очень распространено и встречается повсеместно: одним из примеров может быть ощущение холода, которое вы испытываете, когда вода испаряется с поверхности вашего тела под воздействием ветра. В системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха адиабатическое испарение обычно используется как синоним увлажнения воздуха, однако в последнее время данный процесс стал использоваться чаще для «естественного» охлаждения воздуха, а это очень важный момент с точки зрения создания эко-систем с низким энергопотреблением.

Тем не менее, возможность применения испарительного охлаждения и даже его экономическая целесообразность сильно зависят от условий окружающей среды и эксплуатации на объекте, так как подобное охлаждение обязательно влечет за собой повышение влажности.

Хороших результатов можно добиться в условиях высокой температуры и низкой влажности, например в помещениях с большим выделением тепла.

И напротив, результат применения испарительного охлаждения получится низким в местах с высокой относительной влажностью, а подчас даже отрицательным как для комфорта персонала, так и охлаждаемого технологического процесса.

Цель настоящей книги – поделиться с читателями обширным опытом компании CAREL, накопленным в данной области, и оказать посильную помощь в понимании данного явления. Почерпнутые знания могут оказаться исключительно полезными при проектировании энергосберегающих систем регулирования микроклимата.



Луиджи Налини (Luigi Nalini),
президент компании CAREL S.p.A.

Испарительное охлаждение

Открытие старого принципа:

Испарительное охлаждение в кондиционировании воздуха

Физика учит нас, что испаряющаяся в адиабатической* системе вода отводит явное тепло из такой системы. Следовательно, температура понижается.

Если представить комнату с полностью наполненной водой емкостью, количество испаряющейся воды – это количество, необходимое для полного насыщения воздуха в комнате (относительная влажность = 100%). Чтобы вода начала испаряться, потребуется энергия, а именно 2501 кДж на каждый килограмм испаряемой воды. Если внешнего источника энергии нет, вода поглощает необходимую ей энергию из окружающей среды, в нашем случае – из окружающего воздуха. Следовательно, воздух охлаждается.

Выражаясь простыми словами, можно сказать, что испарение воды преобразует явное тепло воздуха (температуру) в скрытое тепло (влажность). В результате система охлаждается и увлажняется одновременно. Такой вид охлаждения в литературе называется испарительным или адиабатическим охлаждением.

В природе в процессе эволюции млекопитающие и птицы были вынуждены поддерживать постоянную температуру тела, для того чтобы выжить. Эти животные научились отводить избытки тепла посредством дыхания, позволяя влаге испаряться из тела.

Открытие испарительного охлаждения было сделано много веков назад. Еще в Древнем Египте для охлаждения люди использовали большие амфоры. Чтобы усилить эффект, люди использовали, например, большие опахала, при помощи которых создавали движение воздуха вокруг амфор.

(*) адиабатическая система – это система, которая не может обмениваться теплом или веществом с окружающей средой, но может совершать работу.

В Древней Персии внутренние дворы дворцов охлаждались при помощи струящихся фонтанов, которые обеспечивали постоянное увлажнение и, соответственно, охлаждение воздуха. Раскопки, произведенные на территории Италии, Испании и Египта показали важность такого способа кондиционирования воздуха в древние времена.

Во всех случаях принцип охлаждения всегда один: вода испаряется и охлаждает окружающую среду.



Оглавление

Глава 1 - Экологичность и энергосбережение	1-1
1.1 Кондиционирование воздуха	1-2
1.2 Системы кондиционирования воздуха	1-2
1.3 Охлаждение на производстве	1-3
 Глава 2 - Испарительное охлаждение по психрометрической диаграмме	2-1
2.1 Параметры расчета эффективности.....	2-7
2.2 Графический метод анализа испарительного охлаждения	2-8
2.2.1 Прямое испарительное охлаждение	2-9
2.2.2 Сравнение температуры	2-11
2.2.3 Сравнение энтальпии	2-12
2.2.4 Косвенное испарительное охлаждение	2-16
 Глава 3 - Реализуемость испарительного охлаждения	3-1
 Глава 4 - Устройства испарительного охлаждения	4-1
4.1 Испарительное оборудование.....	4-2
4.1.1 Сотовые увлажнители	4-2
4.1.2 Увлажнители барабанного типа.....	4-4
4.2 Распылительные увлажнители (атомайзеры).....	4-5
4.2.1 Диаметр Саутера	4-5
4.2.2 Увлажнители-воздухоочистители	4-5
4.2.3 Защита от микроорганизмов	4-8
4.2.4 Ультразвуковые увлажнители	4-9

4.2.5	Увлажнители с пневмофорсунками	4-11
4.2.6	Распылительные увлажнители высокого давления	4-15
Глава 5 - Энергоэффективность дата-центров		5-1
5.1	Увеличение потребления электроэнергии	5-2
5.2	Проблемы проектирования и эксплуатации	5-3
5.3	Измерение температуры и электропотребления	5-3
5.4	Контроль температуры и электропотребления	5-4
5.5	Оптимизация аппаратного и программного обеспечения	5-5
5.6	Серверы	5-5
5.7	Решения в области хранения данных	5-7
Глава 6 - Оптимизация систем		
	охлаждения дата-центров	6-1
6.1	Расход воздуха: участки высокой и низкой температуры	6-1
6.2	Ограждение горячих проходов	6-3
6.3	Уменьшение препятствий под фальш-полом	6-5
6.4	Управление потреблением и производительностью систем кондиционирования	6-5
6.5	Регулирование производительности систем вентиляции	6-5
6.6	Эффективность систем охлаждения с водой/хладагентом	6-6
6.7	Динамическое регулирование и обслуживание	6-6
6.8	Влияние параметров микроклимата	6-7
6.9	Рекомендации сообщества ASHRAE	6-8
6.10	Определение классов параметров микроклимата	6-9
Глава 7 - Естественное охлаждение:		
методика повышения		
энергоэффективности дата-центров		7-1
7.1	Прямое естественное охлаждение	7-1
7.2	Климат	7-2
7.3	Централизованное кондиционирование воздуха	7-4
7.4	Прямое жидкостное охлаждение	7-5
7.5	Косвенное естественное охлаждение (вода)	7-5
7.6	Косвенное естественное охлаждение (воздух)	7-6
7.7	Регулирование влажности	7-7
Глава 8 - Охлаждение газовых турбин		8-1
8.1	Важность климатических данных	8-2
8.2	Размер инвестиций	8-3
8.3	Эксплуатационные расходы	8-4

8.4	Проектирование системы охлаждения.....	8-5
8.5	Безопасность.....	8-6

Глава 9 - Испарительное охлаждение оребренными теплообменниками.....

		9-1
9.1	Преимущества распылительных систем.....	9-4
9.2	Применение.....	9-4

Глава 10 - Испарительные охладители: соответствие требованиям VDI 6022 по части систем вентиляции, отопления и кондиционирования

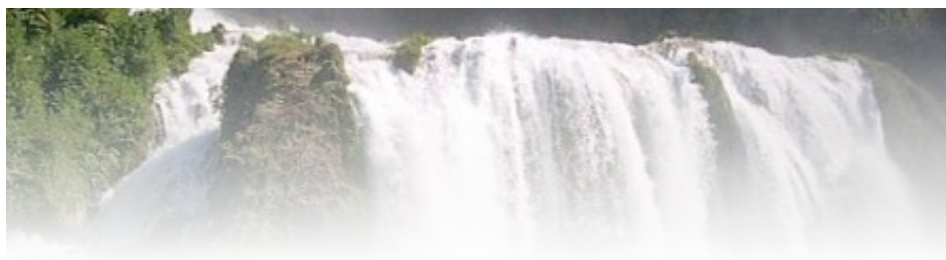
		10-1
10.1	VDI 6022: краткое описание.....	10-2
10.2	Требования к увлажнителям.....	10-3
10.3	Преимущества датчика-ограничителя.....	10-6
10.4	VDI 6022: техническое обслуживание увлажнителя.....	10-9

Глава 11 - Опыт применения.....

		11-1
11.1	Оптимальное круглогодичное кондиционирование воздуха и энергопотребление.....	11-1
11.2	Высокоэффективное охлаждение в дата-центрах.....	11-3
11.3	Испарительное охлаждение на мадридской станции метро Peñagrande.....	11-5
11.4	Повышение эластичности волокон ткани за счет правильного увлажнения.....	11-6

Глоссарий

ЛИТЕРАТУРА



Экологичность и энергосбережение

В настоящей главе рассматриваются возможные варианты применения испарительного охлаждения в системах кондиционирования воздуха как в качестве альтернативы так называемому «механическому охлаждению» с применением холодильных компрессоров, так и совместно с ним.

Технологии испарительного охлаждения, применяемые для кондиционирования воздуха в жилых и производственных помещениях, приобретают растущую популярность в самых разных странах мира.

В качестве хладагента вместо химических составов используется обычная вода, поэтому они более выгодны экономически и не наносят вреда экологии. Испарительное охлаждение демонстрирует прекрасные результаты по поддержанию комфортной среды в странах с горячим и сухим климатом, в частности на Ближнем Востоке, Австралии, Индии, Восточной Африке, Северной части Мексики и Юго-западной части Соединенных Штатов. Чтобы еще больше сократить расходы на электропотребление, рекомендуется сочетать испарительное охлаждение с рекуперацией тепла. Данная технология известна как «косвенное испарительное охлаждение» и подходит практически для любой страны мира, включая страны с очень влажным климатом.

Способы испарительного охлаждения легко интегрируются в существующие системы и дают следующие преимущества:

- сокращение объема первоначальных инвестиций;
- значительное сокращение электропотребления: для охлаждения требуется меньше электроэнергии, сокращается потребность в электричестве, а значит повышается независимость от энергии;
- отсутствие хлорфторуглеродов;
- использование труб меньшего размера и холодильных установок меньшей холодопроизводительности (кВт);

- меньше выбросов CO₂ и других вредных веществ;
- низкие эксплуатационные расходы в течение всего срока службы системы.

1.1 Кондиционирование воздуха

Назначение системы кондиционирования воздуха состоит в поддержании постоянного микроклимата в некотором месте за счет контроля температуры, влажности и качества воздуха. Комфортным микроклиматом считается температура, равная примерно 20 °C зимой и 25 °C летом, и относительная влажность порядка 50%.

При проектировании системы кондиционирования воздуха необходимо учитывать следующее:

- воздух, которым люди дышат в помещении, должен быть чистым. Требования к воздуху регулируются специальными директивами по охране труда, в частности в Германии требования устанавливают, чтобы качество внутреннего воздуха соответствовало качеству воздуха на улице; кроме углекислого газа (CO₂) в воздухе могут присутствовать посторонние запахи, вредные испарения от строительных материалов или ковров, пыль, газ, дым, появляющийся во время производственных процессов, и другие загрязнители, которые необходимо отфильтровывать;
- максимальная эффективность труда людей достигается при температуре около 20 °C. При температуре 28 °C эффективность труда опускается до 70%, при 33 °C - до 50%. По директивам Германии (ASR 6), устанавливающим требования по части температуры воздуха на рабочем месте в офисном помещении, температура не должна превышать 26 °C.

1.2 Системы кондиционирования воздуха

На сегодняшний день существует несколько типов систем кондиционирования воздуха, однако их подробное рассмотрение не является главной задачей данной книги, поэтому ниже приводится только краткое описание основных отличий централизованной системы кондиционирования воздуха от децентрализованной.

Централизованная система: в централизованной системе кондиционирования воздуха все функции, необходимые для поддержания требуемого микроклимата (вентиляция, фильтрация, отопление, увлажнение и осушение воздуха), реализованы в одном агрегате.

В этом случае достаточно легко обеспечить соответствие всем требованиям по поддержанию комфортного микроклимата: качество воздуха, уровень шума, влажность, температура и отсутствие сквозняков. Также стоит отметить, что поскольку все компоненты системы располагаются в одном месте, это дает ощутимые экономические выгоды, в частности сокращение расходов на установку, обслуживание, электроэнергию. При этом обеспечивается повышенный уровень гигиены и экономится свободное физическое пространство в помещении.

Децентрализованная система: в децентрализованной системе кондиционирования

воздуха блок, ответственный за охлаждение воздуха, размещается снаружи, а блоки, отвечающие за обработку воздуха, – внутри помещения. Наружный и внутренние блоки системы соединяются трубками. В качестве преимущества можно отметить тот факт, что прокладывать воздуховоды и предусматривать место под оборудование в подвале или на потолке нет необходимости. Однако в данном случае воздухообмен (вентиляция) как правило не реализуется.

При проектировании централизованных систем для конкретных зданий следует учитывать некоторые факторы, влияющие на потребление электроэнергии. Например, если здание находится большей частью в тени, зимой может потребоваться дополнительное отопление. И напротив, если стены здания большей частью выходят на солнечную сторону, летом для охлаждения воздуха в помещениях потребуется большая холодопроизводительность. В этих случаях применять технологию испарительного охлаждения невозможно, поэтому для увеличения холодопроизводительности потребуется использовать мощные воздушные кондиционеры, которые занимают много места и расходуют больше электроэнергии. Наконец, следует помнить, что для ремонта и технического обслуживания наружных блоков придется возводить строительные леса, а это влечет за собой достаточно ощутимые дополнительные транспортировочные расходы и трату времени. Кроме этого, на время проведения работ комфортный микроклимат в помещениях не поддерживается, а значит производительность труда людей может снизиться.

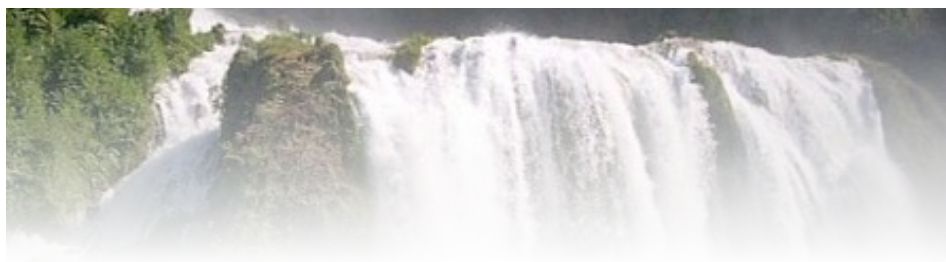


Рис. 1.1 централизованная система охлаждения

1.3 Охлаждение на производстве

Кроме непосредственно кондиционирования воздуха испарительное охлаждение может эффективно применяться в следующих областях:

- *пищевые комбинаты*: предварительное охлаждение пищевых продуктов перед помещением в холодильные камеры или погрузкой в автомобили-рефрижераторы в целях сокращения нагрузки на холодильное оборудование;
- *производственные предприятия*: в ходе некоторых производственных процессов выделяется большое количество тепла, которое нужно периодически рассеивать — это текстильные фабрики, литейные цеха, цеха по производству пластиковых деталей и др.
- *стерильные помещения*: испарительное охлаждение призвано регулировать и минимизировать проникновение содержащихся в воздухе посторонних частиц и газов для защиты специальных процессов, пищевых продуктов и сотрудников, а в некоторых случаях, напротив, — для предотвращения нанесения вреда экологии вредными выбросами, образующимися во время производственных процессов; в подобных случаях системы кондиционирования воздуха должны иметь большой расход наружного воздуха, а если при этом учесть наличие в стерильных помещениях высокочувствительного оборудования, система с испарительным охлаждением имеет неоспоримое преимущество;
- *информационные центры*: по мере развития технологий информационные центры оснащаются все более мощными электронными устройствами, которые во время работы выделяют много тепла. Поэтому информационные центры заинтересованы в решении двух задач: надежное поддержание требуемой температуры и влажности в течение всего времени и сокращения расходов на электроэнергию, потребляемую системой кондиционирования воздуха;
- *газовые турбины*: производительность газовой турбины напрямую зависит от плотности воздуха и, следовательно, температуры. Существуют различные методы охлаждения воздуха на входе в турбинные компрессоры с применением увлажнителей со смоченным наполнителем или распылительных увлажнителей высокого давления.



Испарительное охлаждение по психрометрической диаграмме

На оси Y психрометрической диаграммы показано влагосодержание воздуха, а температура воздуха, измеренная обычным термометром, показана на оси X. Кривые соединяют точки с одинаковой относительной влажностью (например, 40, 60 и 80% относительной влажности).

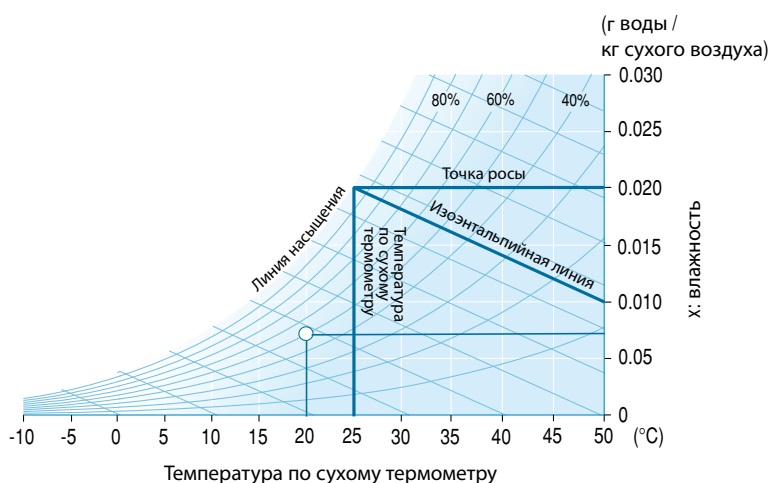


Рис. 2.1 Психрометрическая диаграмма

При некоторой температуре воздух содержит некоторое количество водяного пара. Когда количество пара достигает максимума (100% относительной влажности), значит достигнута точка насыщения и пар начинает конденсироваться. Точки насыщения соединены кривой насыщения. Чем выше температура, тем больше водяного пара может содержать воздух. Рассмотрим пример испарительного охлаждения. Термометр показывает температуру 40 °С, а относительная влажность составляет 15% (воздух не насыщен). Если дать воде испаряться, температура влажного воздуха начнет опускаться, пока не станет соответствовать кривой насыщений. По мере испарения воды содержащееся в воздухе тепло поглощается: явное тепло превращается в скрытое тепло. На приведенном примере температура опускается на 20 °С. Данное психрометрическое превращение показано участком, соединяющим две точки с одинаковой энтальпией, т. е. одинаковым количеством энергии, так как явное тепло превращается в скрытое тепло, но их сумма остается неизменной.

Энтальпия – это количество энергии, которым вещество может обмениваться с окружающей средой. Как правило, энтальпия обозначается буквой H и используется в процессах, происходящих при постоянном давлении, где изменение энтальпии равно теплу, которым вещество обменялось с окружающей средой. Увлажнение происходит при постоянном давлении воздуха, поэтому испарительное охлаждение не влияет на энтальпию и различные превращения (например, $A \rightarrow B$) происходят линейно с постоянной энтальпией (изэнтальпическая кривая).

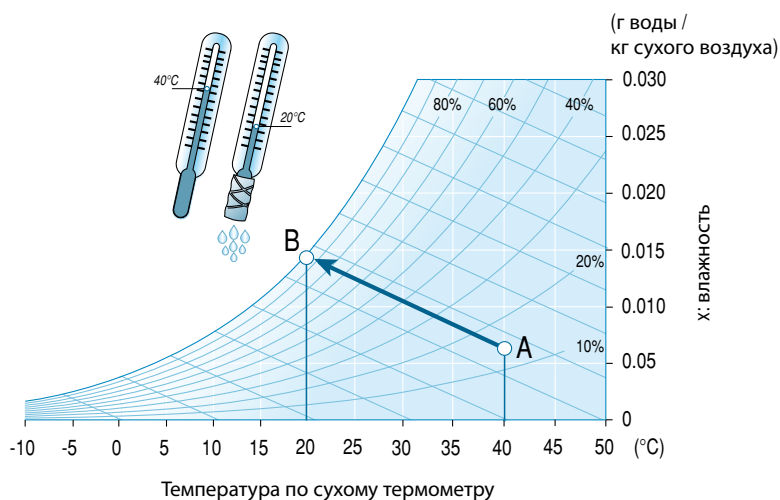


Рис. 2.2 Адиабатическое увлажнение воздуха

Температура по влажному термометру – это показания температуры обычного термометра, обернутого влажной материей. Непрерывное испарение воды приводит к тому, что температура опускается. Температура по влажному термометру всегда меньше показаний обычного термометра за исключением ситуации, когда относительная влажность составляет 100%, т. е. когда воздух содержит максимально возможное при конкретной температуре количество водяного пара.

На рисунке ниже показана эффективность испарительного охлаждения, которая соответственно обуславливает степень охлаждения. Сухой воздух (точка А) при температуре 40 °С проходит через постоянно смоченную гофрированную бумагу. Если эффективность насыщения системы составляет 80%, это означает, что такая система охлаждает воздух на $0.8 \times (40 - 20) = 16$ °С. Таким образом, температура воздуха по сухому термометру на выходе из бумажной прокладки составит $40 - 16 = 24$ °С (точка В).

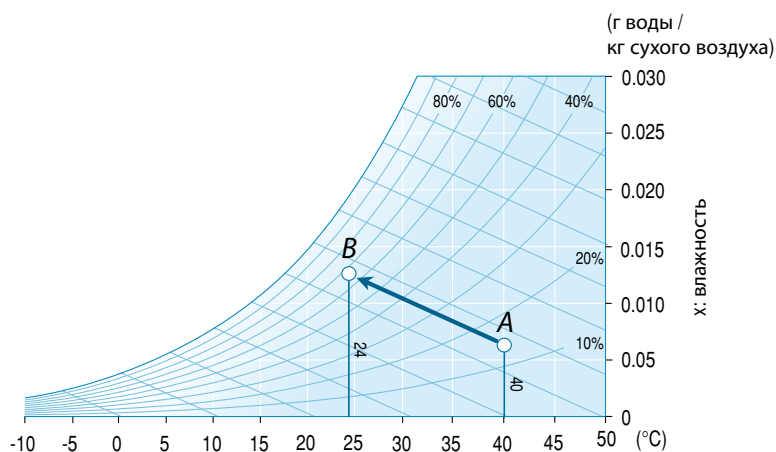


Рис. 2.3 Эффективность насыщения 80%

Ниже приведен пример системы с прямым испарительным охлаждением в летнее время. В центральном кондиционере происходит адиабатическое охлаждение приточного воздуха, представляющего собой смесь наружного и рециркуляционного воздуха, в результате которого воздух, имевший температуру 30 °С при относительной влажности 30%, превращается в воздух температурой 25 °С и влажностью 50%.

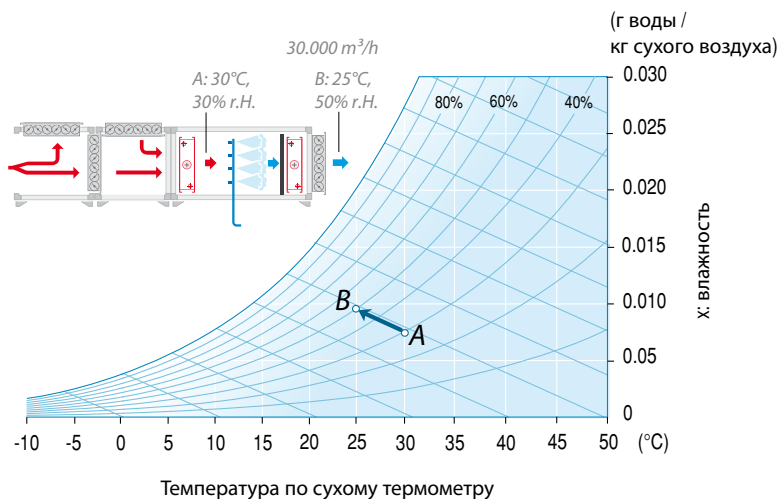


Рис. 2.4 Прямое испарительное охлаждение

Обозначения:

A: приточный воздух до увлажнения

B: приточный воздух после увлажнения

Забранное у приточного воздуха тепло можно вычислить по следующей формуле:

$$(1) \quad q_{\text{sens}} \approx G_a \cdot c_{pa} \cdot (t_2 - t_1)$$

где:

q_{sens} = явное тепло, кВт;

G_a = расход воздуха, кг/с;

c_{pa} = удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении = 1,005 кДж/(кг · К).

На примере, показанном на рисунке:

$G_a = 30000 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,225 \text{ кг/м}^3 = 36750 \text{ кг/ч} \rightarrow 10,2 \text{ кг/с};$

$t_A = 30 \text{ °C}; t_B = 25 \text{ °C};$

$q_{\text{sens}} = 10,2 \cdot 1,005 \cdot (30-25) \approx 51,255 \text{ кВт}.$

Результат испарительного охлаждения зависит от исходных условий (температуры и влажности). На рисунке стрелками показаны разные условия (температура по сухому термометру и влажность).

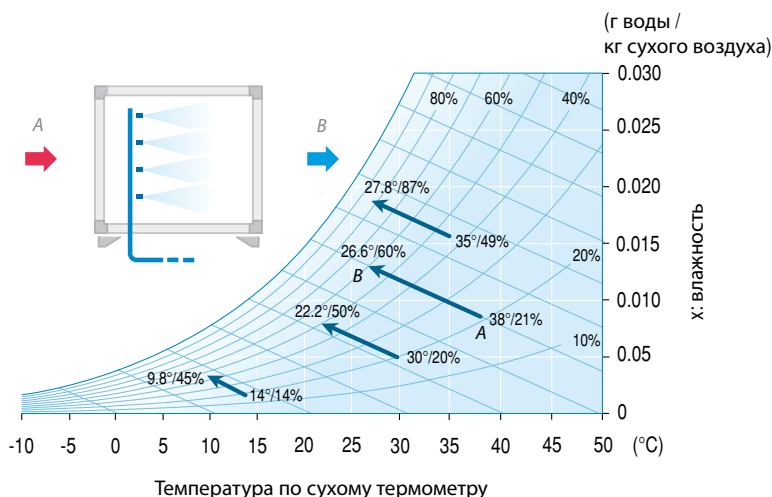


Рис. 2.5 Эффективность насыщения 80% при разных исходных условиях

Не все значения, приведенные выше, считаются комфортными для жизнедеятельности людей, поэтому данная технология может применяться лишь в определенных условиях.

В стандарте ASHRAE 55-2004 «Климатические условия для нормальной жизнедеятельности людей» от 2004 г. указаны участки психрометрической диаграммы, соответствующие комфортному для человека микроклимату в летнее и зимнее время. Зная влажность, скорость воздуха и интенсивность обмена веществ (метаболизм), можно определить участок комфортного микроклимата в зависимости от типа деятельности и теплоизоляции одежды людей. Такой участок представляет определенный диапазон температур, укладывающихся в приемлемые условия*. Обратите внимание, насколько отличаются зимний и летний диапазоны температур, так как люди носят одежду, сильно отличающуюся по теплоизоляции (clo).

(*) или приемлемое сочетание температуры воздуха и средней излучаемой температуры.

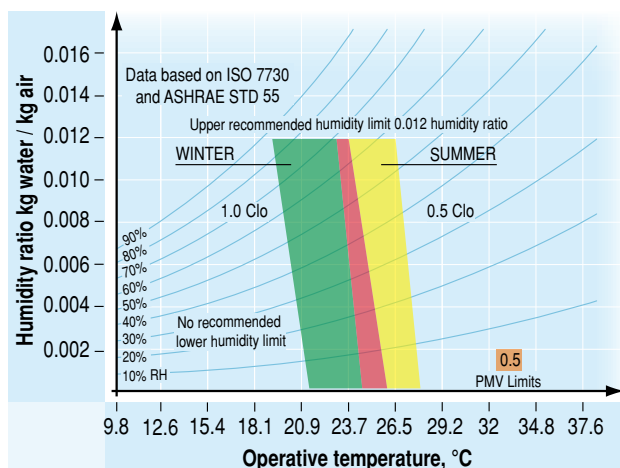


Рис. 2.6 Приемлемые условия влажности и температуры (по стандарту ASHRAE)

Для измерения степени дискомфорта микроклимата обычно используется формула, известная как «показатель тепла и дискомфорта». По формуле вычисляется явная температура в градусах Цельсия с учетом влажности и показаний температуры по сухому термометру.

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Рис. 2.7 Показатель влажности явной температуры (°C)

Обозначения:

менее 29 (синий): небольшой дискомфорт или норма;
от 30 до 34 (желтый): заметный дискомфорт;
от 36 до 39 (зеленый): ощутимый дискомфорт;
от 40 до 45 (розовый): сильный дискомфорт; сильные нагрузки на организм не рекомендуются;
от 46 до 53 (оранжевый): опасный дискомфорт;
более 54 (красный): очень опасный дискомфорт, существует вероятность теплового удара.

Для повышения эффективности испарительного охлаждения при высокой влажности применяется так называемое косвенное испарительное охлаждение. Перед рассмотрением этого процесса и расчетом экономии электропотребления мы рассмотрим тему рекуперации тепла при помощи пластинчатого теплообменника (или циркуляционного теплообменника или роторного теплообменника для рекуперации явного тепла).

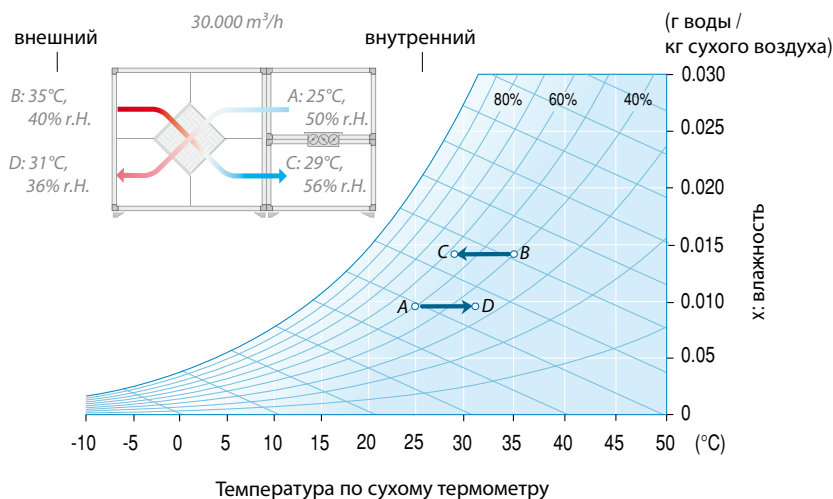


Рис. 2.8 Явный теплообмен в пластинчатом теплообменнике

Обозначения:

A: рециркуляционный воздух

D: вытяжной воздух

B: наружный воздух

C: приточный воздух

Количество тепла, которое берется из приточного воздуха, прежде чем он начнет охлаждаться в теплообменнике охлаждающей секции центрального кондиционера, можно рассчитать по формуле (1), где разность температур – это разность температур наружного и приточного воздуха.

На примере, показанном на рисунке:

$$G_a = 30000 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,225 \text{ кг}/\text{м}^3 = 36750 \text{ кг}/\text{ч} \rightarrow 10,2 \text{ кг}/\text{с};$$

$$t_B = 35 \text{ °C}; t_C = 29 \text{ °C};$$

$$q_{\text{sens}} = 10,2 \cdot 1,005 \cdot (35 - 29) \approx 61,506 \text{ кВт}.$$

Испарительное охлаждение вытяжного воздуха со 100-процентным насыщением увеличит разность температур с 6 до 10 °C.

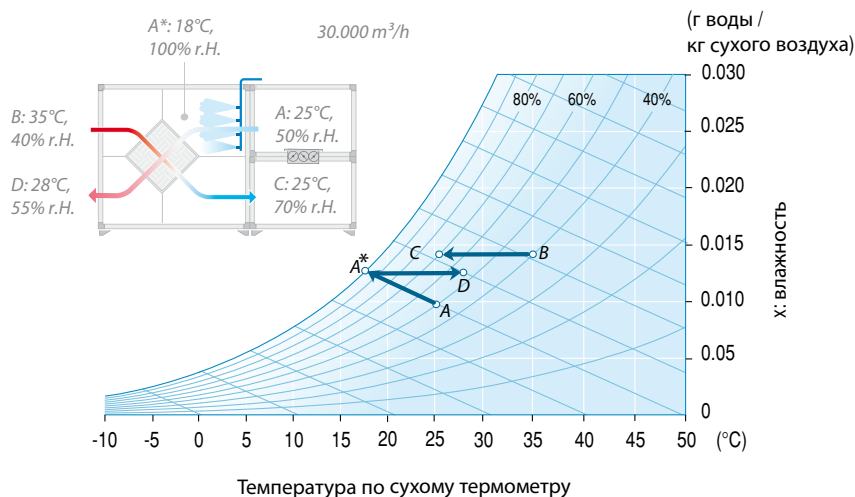


Рис. 2.9 Косвенное испарительное охлаждение

В последнем случае количество явного тепла, взятого из воздуха:

$$q_{\text{sens}} = 10,2 \cdot 1,005 \cdot (28-18) \approx 102,51 \text{ кВт},$$

с дальнейшей экономией 41 кВт.

Обратите внимание, что испарительное охлаждение применяется для охлаждения вытяжного воздуха, а значит, влажность может быть высокой, практически приближаясь к точке насыщения, а температура очень низкой. Это необходимо для максимальной экономии электропотребления. С другой стороны, забираемый наружный воздух не охлаждается распыляемой водой, поэтому его абсолютная влажность не изменяется.

2.1 Параметры расчета эффективности

Эффективность насыщения определяет способность увлажнителя создавать условия, способствующие насыщению кондиционируемого воздуха. x_1 , x_2 , x_s представляют влагосодержание воздуха перед увлажнением, после увлажнения и в момент насыщения. Формула выглядит следующим образом:

$$(2) \quad \eta = \frac{x_2 - x_1}{x_s - x_1}$$

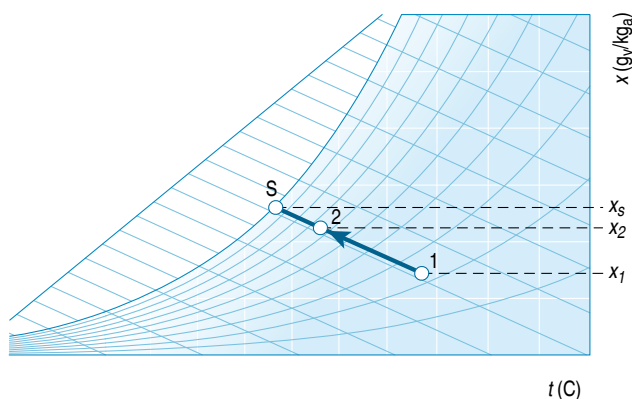


Рис. 2.10 Эффективность насыщения

Коэффициент поглощения адиабатического увлажнителя представляет собой отношение расхода воды, фактически поглощенной воздушным потоком (G_{ev}), к расходу воды, поданной в воздушный поток, (G_{in}) и вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{G_{ev}}{G_{in}} \quad (3)$$

2.2 Графический метод анализа испарительного охлаждения

В настоящем параграфе приводится описание и анализ способов прямого и косвенного испарительного охлаждения с учетом наиболее благоприятных условий влажности и температуры наружного воздуха, при которых преимущества данных способов раскрываются в большей степени. Это зависит от заданной внутри помещения температуры и распределения явной и скрытой нагрузок. Выбор способа можно запрограммировать в системе управления центрального кондиционера, чтобы, например, в максимальной степени использовать функцию естественного охлаждения (см. главу 3). На различных примерах показано, что за счет комбинирования способов прямого и косвенного испарительного охлаждения можно удовлетворить любым потребностям охлаждения. В основе настоящего способа лежит распыление воды под высоким давлением (см. главу 4), что позволяет достаточно точно регулировать конечную влажность воздуха.

Прямое испарительное охлаждение преимущественно подходит для стран с горячим засушливым климатом, а в странах с умеренным климатом условия менее предпочтительны. Климатические требования для данного способа приведены ниже на психрометрической диаграмме, разделенной на семь зон. Далее приводится описание альтернативного процесса, который может обеспечить

охлаждение за счет испарения – косвенное испарительное охлаждение. В этом случае воздух охлаждается по технологии адиабатического увлажнения, который используется для понижения температуры вспомогательного потока воздуха, проходящего через теплообменник, где влажность основного потока воздуха не изменяется. Потенциальные возможности косвенного испарительного охлаждения анализируются для всех климатических условий, и на психрометрической диаграмме показаны зоны, изображающие разную эффективность данной технологии. Начиная с точки 1 (энтальпия h_1 , температура t_1 и влагосодержание x_1) охлаждение воздуха происходит за счет испарения; итоговый результат ограничивается кривой насыщения. Если принять точку 2 как соответствующую конечным условиям (энтальпия h_2 , температура t_2 и влагосодержание x_2), удельное потребление электроэнергии на охлаждение или, иначе говоря, эффект, достигаемый на каждый килограмм кондиционируемого воздуха, вычисляется по формуле:

$$(4) \quad q_{sp} \approx \eta \cdot c_{pa} \cdot (t_s - t_1)$$

где:

q_{sp} = удельное потребление электроэнергии на охлаждение;

η = эффективность насыщения;

c_{pa} = удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении = 1,005 кДж/(кг · К);

t_s = температура насыщения.

На рисунке показан график удельного электропотребления на охлаждение и понижение температуры воздуха, увлажненного адиабатическим методом, начиная с некоторой температуры t_1 и относительной влажности ϕ_1 . При этом предполагается, что эффективность насыщения равна 100%.

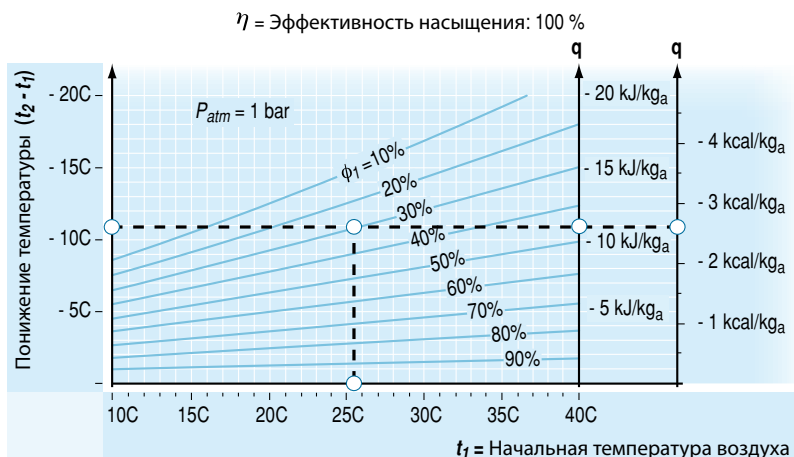


Рис. 2.11 Удельное электропотребление на охлаждение и понижение температуры

2.2.1 Прямое испарительное охлаждение

Прямое испарительное охлаждение наружного воздуха полезно использовать, если энтальпия наружного воздуха ниже величины энтальпии, которая требуется в кондиционируемом помещении, а влагосодержание при этом в определенной степени ниже значения в кондиционируемом помещении, исходя из соображений требований скрытых тепловых нагрузок.

Чтобы прояснить эту ситуацию, возьмем скрытую нагрузку в помещении как G_v (кг/с), обусловленную присутствием некоторого количества людей. Зная величину массового расхода наружного воздуха G_{vent} (кг_{air}/с), можно вычислить удельную скрытую нагрузку Δx_{sp} (кг/кг_{air}) по следующей формуле:

$$\Delta x_{sp} = \frac{G_v}{G_{vent}} \quad (5)$$

В зависимости от типа здания и/или вида проводимой в здании деятельности можно вычислить скрытую нагрузку и расход воздуха на каждого человека. В большинстве случаев эта величина составляет 0,0025 кг/кг_{air}.

Суммарный расход воздуха G_p , который можно подавать в кондиционируемое помещение, представляет собой смесь рециркуляционного и свежего наружного воздуха G_E , при этом количество последнего должно соответствовать минимальным требованиям по расходу свежего воздуха G_{vent} , которые зависят от местных стандартов качества внутреннего воздуха и индивидуальных предпочтений.

В системах, где *естественное охлаждение* происходит по описанной здесь схеме, расход наружного воздуха G_E можно увеличить с минимальной величины G_{vent} до суммарного расхода приточного воздуха G_p . Этого можно добиться за счет регулирования количества рециркуляционного воздуха при помощи приводных заслонок.

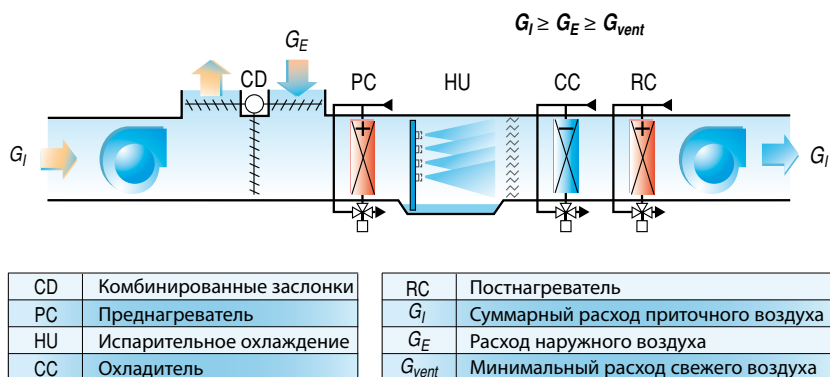


Рис. 2.12 Схема, где приводные заслонки регулируют количество циркулирующего и наружного воздуха

Если предположить, что влагосодержание наружного воздуха x_E меньше влагосодержания воздуха в помещении x_A , то расход G_E представляет скрытую отрицательную нагрузку с абсолютной величиной

$$(6) \quad G_E \cdot (x_A - x_E)$$

Если в любое время года разница влагосодержания наружного воздуха и воздуха в помещении $(x_A - x_E)$ станет больше удельной скрытой нагрузки Δx_{sp} , минимальный расход свежего воздуха G_{vent} можно легко изменить, так чтобы он соответствовал скрытой тепловой нагрузке G_v , с учетом того что:

$$(7) \quad G_{vent} \cdot (x_A - x_E) > G_{vent} \cdot \Delta x_{sp} = G_v$$

Если, с другой стороны,

$$(8) \quad (x_A - x_E) < \Delta x_{sp}$$

расход наружного воздуха G_E следует постепенно увеличить с минимального значения G_{vent} до максимально допустимого G_l . Если максимальное достигнутое значение меньше скрытой тепловой нагрузки G_v , для поддержания равновесия потребуется применить осушение. И напротив, в наиболее влажное время года потребуется регулировать расход наружного воздуха для поддержания равновесия:

$$(9) \quad G_E \cdot (x_A - x_E) = G_v$$

Следовательно:

$$(10) \quad G_E = G_{VENT} \cdot \frac{\Delta x_{sp}}{x_A - x_E}$$

2.2.2 Сравнение температуры

На первый взгляд, естественное охлаждение сулит преимущества только при условии, что температура на улице ниже температуры в помещении: $t_E < t_A$.

Поэтому система управления обеспечивает (см. следующий рисунок):

- максимальный расход при небольшой разности температур;
- снижение расхода, если температура наружного воздуха ниже ожидаемой температуры на входе t_i ;
- постепенное снижение расхода во избежание чрезмерного охлаждения и для обогрева кондиционируемого помещения.

Тепловые нагрузки внутри помещения часто таковы, что охлаждение требуется даже в условиях, когда температура наружного воздуха ниже заданной температуры внутреннего воздуха. Это обусловлено дополнительными нагрузками: выделяемое людьми и вырабатываемое устройствами тепло, теплопередачей через стены. Количество электроэнергии, потребляемой системой кондиционирования воздуха, можно сократить за счет регулирования расхода наружного воздуха от минимального значения, соответствующего расходу свежего воздуха, до максимального значения, равного суммарному расходу приточного воздуха.

Требуемый расход воздуха вычисляется по энтальпии, равной явной части нагрузки (t_l = температура приточного воздуха):

$$G_l c_{pa} (t_A - t_l) \quad (11)$$

поэтому:

$$G_E = G_l \cdot \frac{(t_A - t_l)}{(t_A - t_E)} \quad t_E < t_l \quad (12)$$

В действительности, если $t_E = t_l$, расход приточного воздуха равен общему расходу наружного воздуха, поэтому удовлетворяет требованиям нагрузок. Если температура наружного воздуха становится ниже, расход воздуха постепенно снижается до минимального значения, равного минимальному расходу свежего воздуха G_{VENT} . Когда температура наружного воздуха достигает некоторого значения, определенного как $t_{E,lim}$, для удовлетворения потребностей тепловой нагрузки внутри помещений расход наружного воздуха снижается до значения G_{VENT} , соответствующего минимальному расходу свежего воздуха. Подставив G_E , равное G_{VENT} , в предыдущую формулу, получаем:

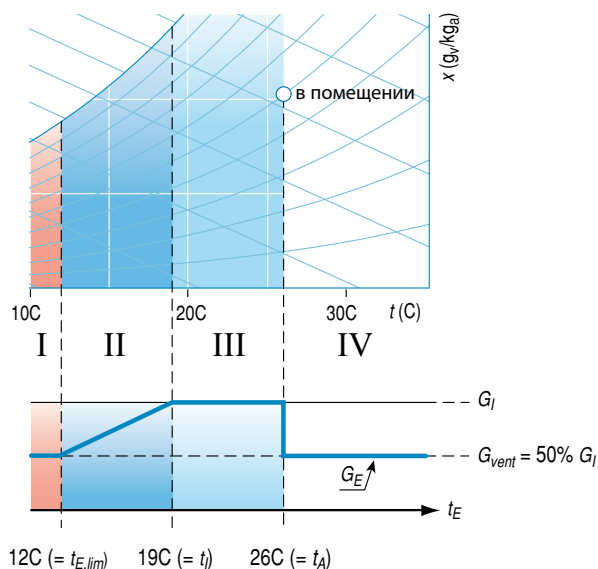
$$t_{E,lim} = t_A - \frac{G_l}{G_{vent}} \cdot (t_A - t_l) \quad (13)$$

Когда температура наружного воздуха ниже этого значения, температуру внутри помещения невозможно поддерживать на заданном уровне без включения обогрева.

Ниже показан пример на психрометрической диаграмме, где:

$$\begin{aligned} t_A &= 26 \text{ }^\circ\text{C}; \\ x_A &= 10,6 \text{ г/кг (50\%);} \end{aligned}$$

На диаграмме выделены четыре зоны, показывающие различные процессы, необходимые для поддержания заданной температуры, где естественное охлаждение применяется по мере возможности.



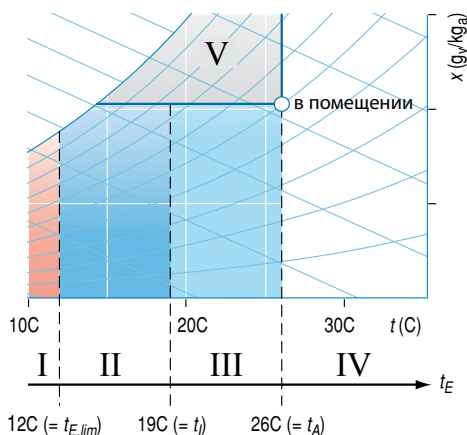
t_E	Температура наружного воздуха
t_A	Температура воздуха в помещении
t_l	Температура приточного воздуха
$t_{E,lim}$	Минимальная температура естественного охлаждения
G_I	Общий расход приточного воздуха
G_{VENT}	Минимальный расход свежего воздуха
G_E	Расход наружного воздуха

I	Зона обогрева
II	Зона частичного естественного охлаждения
III	Зона полного естественного охлаждения
IV	Зона без использования естественного охлаждения

Рис. 2.13 Психрометрическая диаграмма, разделенная на зоны по результатам сравнения температуры наружного воздуха, температуры внутреннего воздуха и температуры приточного воздуха

2.2.3 Сравнение энтальпии

Если учитывать только температуру и не обращать внимания на влажность, может появиться желание увеличить количество подаваемого в помещение наружного воздуха лишь потому, что он холоднее воздуха внутри кондиционируемого помещения. Однако если влагосодержание наружного воздуха больше влагосодержания внутреннего воздуха, как в частности в зоне V на рисунке, естественное охлаждение приведет к увеличению скрытой нагрузки.



I	Зона обогрева
II	Зона частичного естественного охлаждения
III	Зона полного естественного охлаждения
IV	Зона без использования естественного охлаждения
V	Зона роста явной теплоты из-за подачи наружного воздуха

Рис. 2.14 Введение ограничения, если влагосодержание наружного воздуха больше, чем внутреннего

Точное регулирование влажности и температуры внутреннего воздуха означает, что цикл естественного охлаждения, с одной стороны, должен сравнивать энтальпию наружного воздуха с типовыми значениями искомой системы (внутреннего и приточного воздуха), а с другой стороны, учитывать влагосодержание. Так, предположим, что температура приточного воздуха равна 19 °С, удельная нагрузка составляет 2,5 г/кг_{air}, тогда параметры приточного воздуха можно получить из отношения расходов наружного и приточного воздуха (Δx_{sp} = удельная скрытая нагрузка):

$$x_l = x_A - \frac{G_{vent}}{G_l} \cdot \Delta x_{sp} \quad (14)$$

Если найти x_l вместе с t_l , можно вычислить энтальпию h_l . Имея эти данные, а также зная энтальпию внутри помещения h_{A2} , можно разделить психрометрическую диаграмму на четыре части (см. следующий рисунок):

- I. Если энтальпия на улице больше, чем в помещении, экономия электропотребления становится невозможной, так как при увеличении подаваемого в помещение наружного воздуха нагрузка внутри кондиционируемого помещения увеличивается. Поэтому расход воздуха должен оставаться на минимальном уровне, достаточном для удовлетворения потребности в свежем воздухе;
- II. При примерно равных значениях энтальпии в помещении и на улице наружный воздух можно использовать для удовлетворения нагрузки внутри

помещения, поэтому скорость расхода наружного воздуха следует поднять до максимального уровня для снижения нагрузки на:

$$(15) \quad G_l \cdot (h_A - h_E)$$

III. В третьей зоне скорость расхода наружного воздуха необходимо регулировать от максимального значения, если $h_E = h_p$ и до минимального значения, если

$$(16) \quad h_{E, \min} = h_A - \frac{G_l}{G_{\text{vent}}} \cdot (h_A - h_l)$$

IV. В последней зоне, по достижении минимального значения, подача в помещение наружного воздуха означает потребность в обогреве

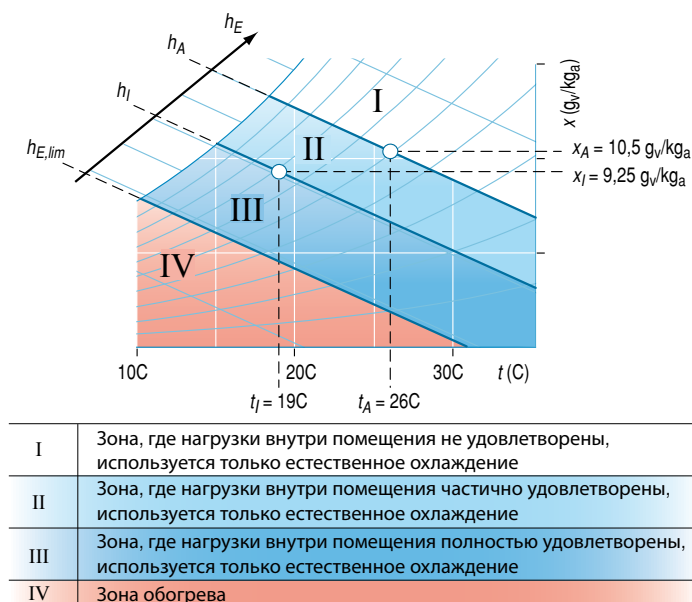
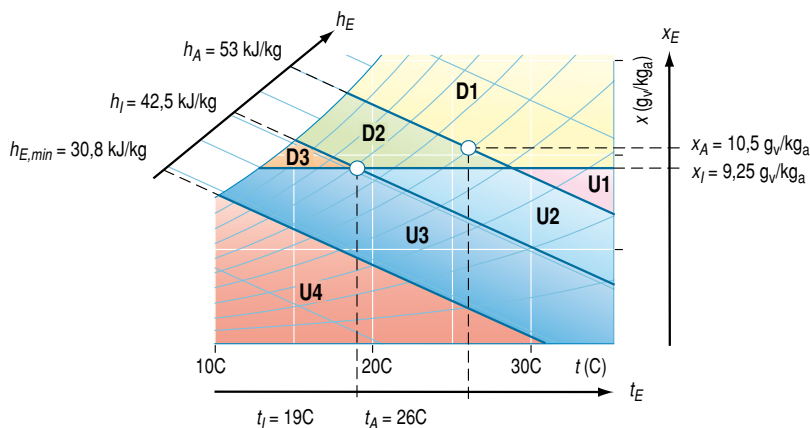


Рис. 2.15 Психрометрическая диаграмма, разделенная на четыре зоны по результатам сравнения энтальпии на улице и типовых значений системы

Влажность также необходимо учитывать, так как на вышеприведенных зонах влажность нельзя поддерживать без применения увлажнения или осушения. Если предположить, что температура внутреннего воздуха 26 °С, относительная влажность 50%, а температура приточного воздуха 19 °С и влагосодержание 9,25 г/кг (эта теория уже использовалась при удельной скрытой нагрузке 2,5 г/кг и соотношении свежего и приточного воздуха 50%), горизонтальная линия, проходящая через точку, соответствующую условиям приточного воздуха, делит ранее имевшиеся четыре зоны на семь зон. Выше линии требуется осушение воздуха, ниже линии – увлажнение.



D1	Зона без возможной экономии электроэнергии
D2	Зона с возможной экономией электроэнергии, но потребуются осушение воздуха
D3	Зона, аналогичная зоне D2
U1	Зона без возможной экономии электроэнергии от применения естественного охлаждения (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U2	Зона с возможным частичным естественным охлаждением (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U3	Зона с возможным полным естественным охлаждением (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U4	Зона, где потребуются увлажнение и обогрев

Рис. 2.16 Психрометрическая диаграмма, разделенная на семь зон в зависимости от энтальпии и влагосодержания

Ниже приводится краткое описание семи зон:

- D1. Энтальпия на улице больше, чем внутри помещения ($h_E > h_A$). Наружный воздух всегда представляет дополнительную нагрузку, поэтому скорость расхода следует сохранять минимальной. Влагосодержание на улице также выше, чем следует, поэтому необходимо применить осушение. Если влагосодержание наружного воздуха больше влагосодержания внутреннего воздуха, наружный воздух создает скрытую нагрузку. Поэтому добиться экономии электропотребления за счет естественного охлаждения не удастся.
- D2. Можно добиться небольшой экономии электропотребления, так как энтальпия наружного воздуха h_E меньше энтальпии воздуха в кондиционируемом помещении, хотя и выше энтальпии приточного воздуха h_I . Если увеличить расход воздуха до максимального значения, можно добиться экономии электропотребления, даже если придется задействовать небольшое осушение воздуха. Если $x_E > x_A$, влажность, обусловленная наружным воздухом, увеличивает скрытую нагрузку.
- D3. Если энтальпия наружного воздуха меньше энтальпии приточного воздуха, под зоной D2 образуется небольшой треугольник. Этой зоной можно пренебречь, так как вероятность того, что условия наружного воздуха окажутся в пределах этой зоны, очень низка. Если все-таки это случится, скорость расхода наружного воздуха следует регулировать по следующей формуле:

$$(17) \quad G_E = G_I \cdot \frac{(h_A - h_I)}{(h_A - h_E)}$$

Если необходимо поддерживать влажность с высокой точностью, потребуется небольшое осушение воздуха.

- U1. Энтальпия наружного воздуха больше энтальпии воздуха внутри кондиционируемого пространства ($h_E > h_A$). Наружный воздух всегда представляет дополнительную нагрузку, поэтому расход следует сохранять минимальным. Чтобы добиться требуемых параметров приточного воздуха начиная с точки, где происходит смешение воздуха, потребуется задействовать адиабатическое увлажнение воздуха. В этом случае возникнет эффект испарительного охлаждения.
- U2. Энтальпия наружного воздуха находится между энтальпией приточного воздуха и энтальпией внутреннего воздуха. Чем больше количество подаваемого воздуха, тем выше результаты. Чтобы параметры воздуха стали соответствовать требованиям приточного воздуха, потребуется адиабатическое увлажнение. Это типовая ситуация для стран с сухим климатом, где можно использовать испарительное охлаждение.
- U3. Энтальпия наружного воздуха меньше энтальпии приточного воздуха ($h_E = h_I$), поэтому можно использовать естественное охлаждение. Расход приточного воздуха следует регулировать по формуле

$$(17) \quad G_E = G_I \cdot \frac{(h_A - h_I)}{(h_A - h_E)}$$

от максимального значения, если $h_E = h_I$, и до минимального значения, когда $h_E = h_{E \text{ min}}$. Между двумя ступенями обогрева по возможности следует задействовать адиабатическое увлажнение, в частности такая ситуация возникает при кондиционировании воздуха в зимнее время.

- U4. Расход наружного воздуха следует сохранять минимальным, учитывая, что он создает потребность в обогреве. Очевидно, что также потребуется увлажнение воздуха.

2.2.4 Косвенное испарительное охлаждение

Естественное охлаждение с прямым испарительным охлаждением особенно подходит для стран с сухим, а также умеренным климатом в периоды, сопровождающиеся снижением абсолютной влажности наружного воздуха. Кроме этого, в странах с умеренным климатом можно более эффективно использовать рекуперацию тепла за счет косвенного испарительного охлаждения. Один из возможных вариантов показан на рисунке, где перед выбросом воздух увлажняют: температура воздуха понижается, что можно использовать для теплообмена с наружным воздухом, охлаждающимся без изменения количества содержащейся в нем влаги.

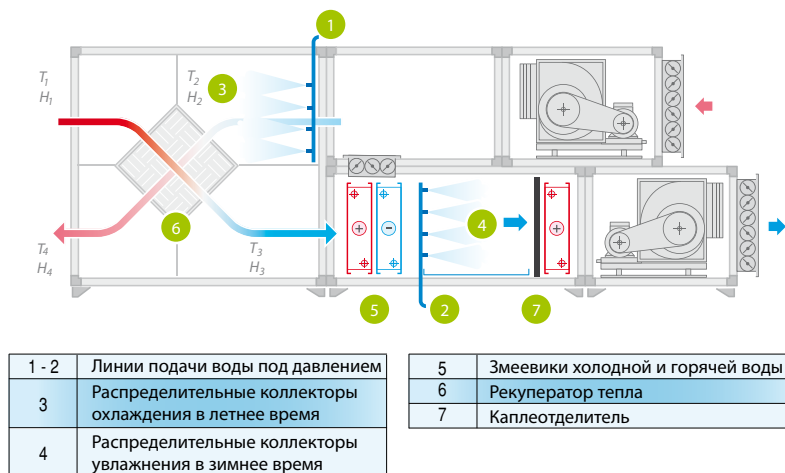
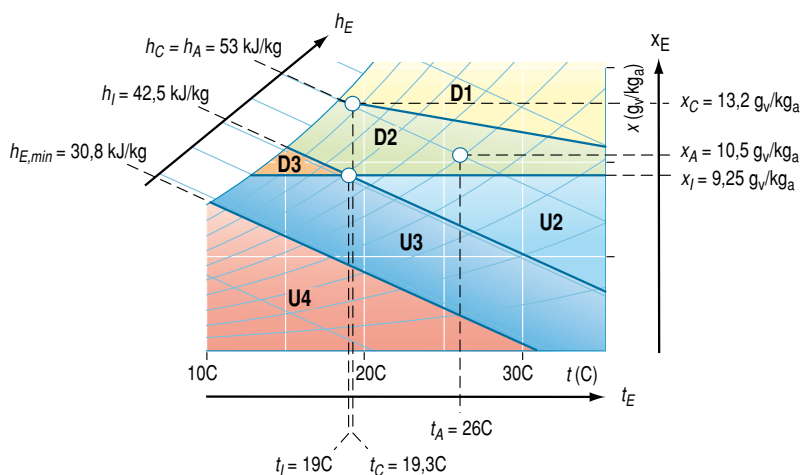


Рис. 2.17 Вариант системы косвенного испарительного охлаждения

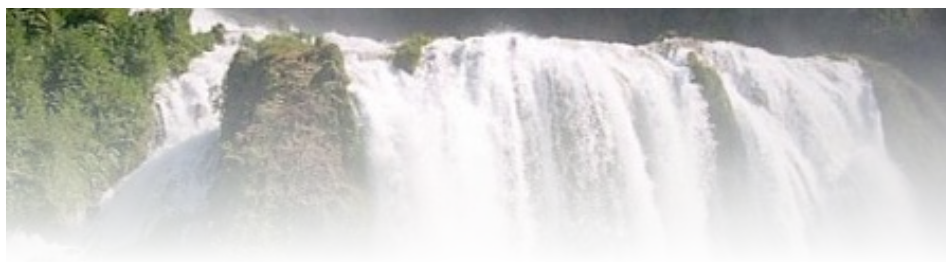
Можно показать, что по мере увеличения эффективности теплообменника ξ , соотношения вытяжного воздуха и свежего воздуха α , а также эффективности адиабатического охладителя η , размер зоны D2 на психрометрической диаграмме увеличится, а зона U2 поглотит зону U1, которая в результате исчезнет.



D1	Зона без возможной экономии электроэнергии
D2	Зона с возможной экономией электроэнергии, но потребуются осушение воздуха
D3	Зона, аналогичная зоне D2
U2	Зона с возможным частичным естественным охлаждением (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U3	Зона с возможным полным естественным охлаждением (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U4	Зона, где потребуются увлажнение и обогрев

Рис. 2.18 Психрометрическая диаграмма, разделенная на зоны в зависимости от энтальпии и влагосодержания, для косвенного испарительного охлаждения

По результатам анализа погодных данных, собранных в разных странах с умеренным климатом в летнее время, можно сказать, что более 50% всего времени параметры воздуха попадают в зону D2, тогда как в предыдущим случае без рекуперации тепла, параметры соответствовали зоне D2 в течение менее 40% всего времени, а в некоторых случаях даже менее 30%.



Реализуемость испарительного охлаждения

В основе всех способов естественного охлаждения лежит возможность изменения расхода наружного воздуха, обеспечиваемая центральным кондиционером, от минимального значения G_{vent} до максимального значения G_1 . Это возможно в системах с переменным расходом воздуха (VAV), где охлаждение происходит при помощи приточного воздуха, имеющего постоянную температуру, но разный расход, а также в системах с постоянным расходом воздуха (CAV), где расход воздуха постоянный, а температура приточного воздуха изменяется.

Эти характеристики позволяют использовать воздушные теплообменники для прямого (DEC) и косвенного испарительного охлаждения (IEC). Схемы центрального кондиционера и зоны психрометрической диаграммы для обоих вариантов испарительного охлаждения см. в пп. 2.2, 2.3, 2.5 и 2.6. Возможность экономии электропотребления при помощи данных способов была проанализирована при помощи моделирующей программы (созданной специалистами компании CAREL в сотрудничестве с представителями кафедры управления промышленными системами при техническом факультете Университета Падуи). Программа использовалась для анализа экономии электропотребления в трех режимах работы:

- только естественное охлаждение с полным или частичным использованием наружного воздуха, при условии что температура и относительная влажность на улице это позволяют;
- естественное охлаждение и только прямое испарительное охлаждение;
- естественное охлаждение, косвенное испарительное охлаждение и прямое испарительное охлаждение.

Команда исследователей отобрала семь городов, представляющих страны с разным климатом согласно классификации климата по Кеппену. Города отбирались по принципу средней сезонной уличной температуры и относительной влажности во время сезона активного использования системы кондиционирования воздуха (с апреля по октябрь). Для анализа каждого режима работы метеорологические данные брались каждый час.

Город	Классификация климата по Кеппену	Тип климата
Денвер	BSk	Прохладный, полусухой (степной)
Лос-Анджелес	Csb	Умеренно теплый (средиземноморский)
Мадрид	Csa	Теплый (средиземноморский)
Париж	Cfb	Морской
Рим	Csa	Теплый (средиземноморский)
Шанхай	Cfa	Влажный субтропический
Пекин	Dwa	Влажный континентальный

Ниже приведены данные по сезонному электропотреблению и технико-экономические показатели эксплуатации офисного помещения, рассчитанного на 100 человек.

Вводные данные для сезонного анализа

t_A (в помещении)	°C	21
ϕ_A (в помещении)	-	50%
t_l (приточный)	°C	16
Количество людей	-	100
Скрытая нагрузка на человека	W	50
Явная нагрузка на человека	W	75
Другие явные нагрузки	W	90000
Расход наружного воздуха – G_{vent}	лс ⁻¹ человек ⁻¹	11
Соотношение вытяжного/наружного воздуха – α	-	0.9
Эффективность теплообменника – ξ	-	75%
Эффективность насыщения при косвенном испарительном охлаждении – η_{ac}	-	90%
Эффективность насыщения при прямом испарительном охлаждении – η_{di}	-	90%
Средний сезонный КПД (EER) чиллера		3
Стоимость электричества	€ кВт · ч ⁻¹	0.20
Стоимость воды	€ м ⁻³	1
Период времени	-	Апрель – октябрь
Числа месяцев	-	6 - 21

Первый график показывает распределение всех зон на психрометрической диаграмме в процентах для каждого типа климата при определенной температуре приточного воздуха t_l , а влагосодержание x_l определялось по типу деятельности работающих в помещении людей (например, сидячая работа, легкая работа, тяжелая работа). Температура приточного воздуха сдвигается, и зоны психрометрической диаграммы изменяются в зависимости от изменений влагосодержания x_l

(см. п. 2.2). В моделирующую программу было заложено, что атомайзеры обеспечивают температуру приточного воздуха по схеме, изложенной в таблице.

D1	Зона без возможной экономии электроэнергии
D2	Зона с возможной экономией электроэнергии, но потребуется осушение воздуха
D3	Зона, аналогичная зоне D2
U1	Зона без возможной экономии электроэнергии от применения естественного охлаждения (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U2	Зона с возможным частичным естественным охлаждением (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U3	Зона с возможным полным естественным охлаждением (может потребоваться увлажнение с испарительным охлаждением)
U4	Зона, где потребуется увлажнение и обогрев

Если взглянуть на примеры, при переходе с прямого испарительного охлаждения на косвенное испарительное охлаждение + прямое испарительное охлаждение становится очевидно, что:

- зона U1 исчезнет, а зона без возможной экономии электроэнергии D1 станет меньше;
- зона U3, где возможно полное естественное охлаждение с увлажнением, увеличится;
- зона D2, где экономия электроэнергии возможна, но с осушением воздуха, тоже увеличится.

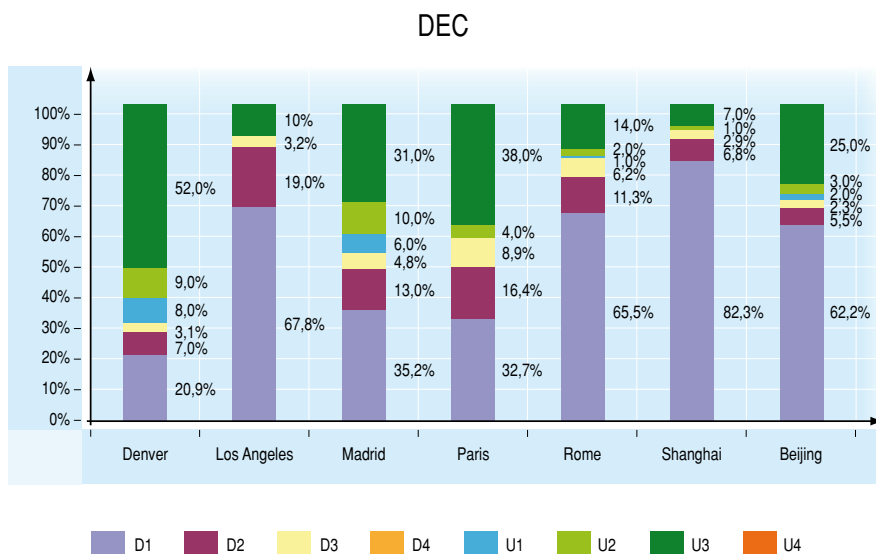


Рис. 3.1 Распределение зон на психрометрической диаграмме в процентах для каждого типа климата (прямое испарительное охлаждение)

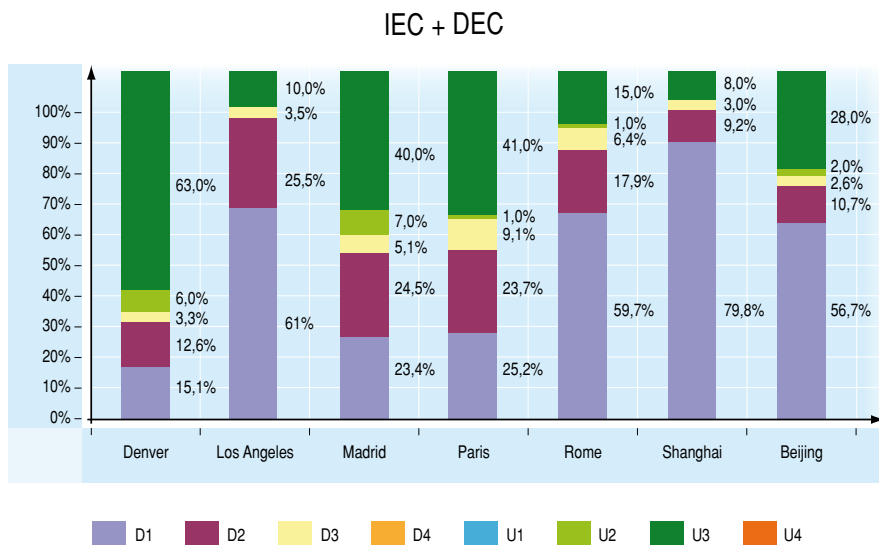


Рис. 3.2 Распределение зон на психрометрической диаграмме в процентах для каждого типа климата (косвенное испарительное охлаждение)

Ниже приводится сравнение прямого и косвенного испарительного охлаждения, показывающее экономию электроэнергии, используемой для охлаждения воздуха, за вычетом любой тепловой энергии, необходимой для осушения наружного воздуха, превышающего расход G_{vent} , и электропотребления вентиляции. Обратите внимание, что при использовании косвенного испарительного увлажнения более заметная экономия электроэнергии получается в городах со средиземноморским климатом, например Риме, Мадриде и Лос-Анджелесе, чем в городах с более влажным климатом, например Париже, Шанхае и Пекине.

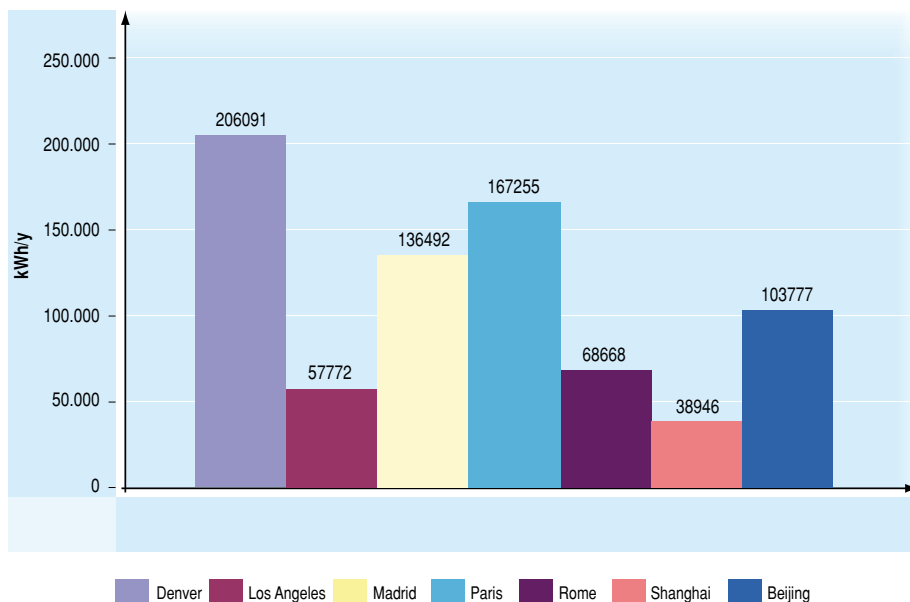


Рис. 3.3 Экономия энергозатрат на охлаждение воздуха при использовании прямого испарительного охлаждения

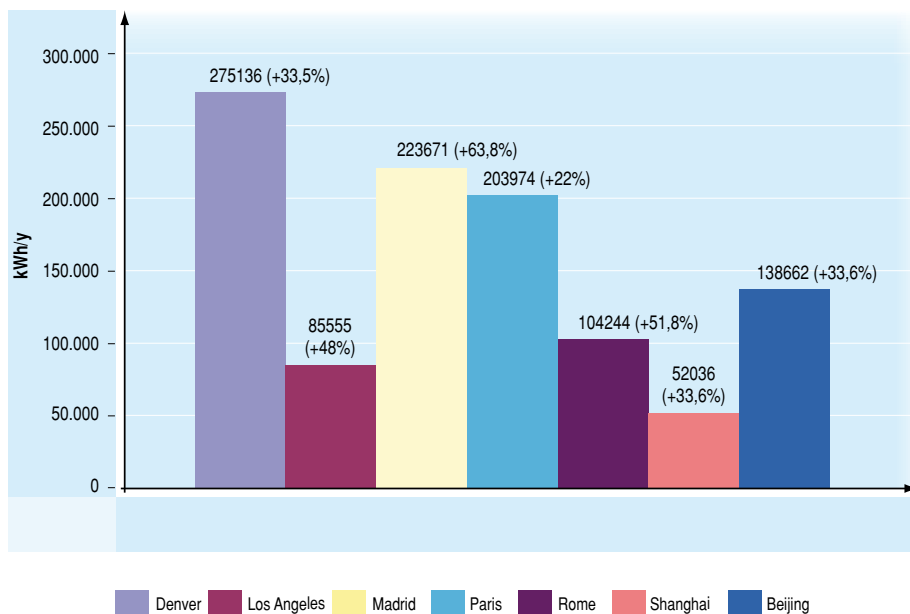


Рис. 3.4 Экономия энергозатрат на охлаждение воздуха при использовании косвенного испарительного охлаждения

На следующем графике показана ежемесячная максимальная холодопроизводительность, необходимая при использовании косвенного

испарительного охлаждения. Производительность чиллера составляет 108,3 кВт. Максимальная экономия на холодопроизводительности чиллера достигается в таких городах, как Рим и Мадрид, где достаточно 100,2 кВт максимальной холодопроизводительности.

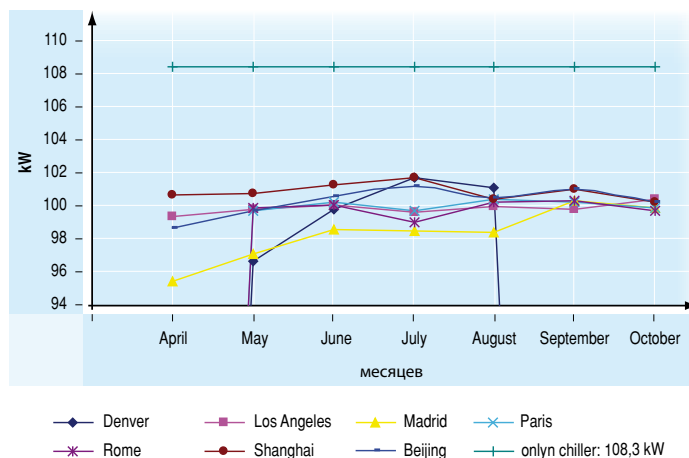


Рис. 3.5 Максимальная необходимая холодопроизводительность при косвенном испарительном охлаждении

Анализ затрат лежит в основе любой оценки рентабельности инвестиций. Чиллер, используемый в системе в качестве дополнения к испарительному охладителю, может быть меньшего размера, а значит:

- меньше компрессоров, насосов и вентиляторов;
- меньше износ, так как количество часов наработки меньше.

В результате дополнительные расходы на обслуживание всей системы можно считать равными нулю, так как повышение расходов на обслуживание испарительного охладителя нивелируется сокращением стоимости обслуживания чиллера по вышеизложенным причинам (в некоторых случаях экономия на обслуживании чиллера оказывается даже большей, чем расходы на обслуживание испарительного охладителя). Период окупаемости можно рассчитать, руководствуясь следующими данными:

- первоначальные вложения в насосный агрегат, распределительные трубки (коллекторы) с форсунками;
- ежегодные расходы на воду;
- эквивалентная сумма экономии на электричестве при прямом (DEC) и косвенном испарительном охлаждении (IEC); коэффициент EER=3;
- наличие или отсутствие системы водоподготовки по технологии обратного осмоса;
- дополнительное снижение давления из-за каплеуловителя системы прямого испарительного охлаждения, которое нивелируется более мощными вентиляторами

Типоразмер системы обратного осмоса (WTS) выбирался индивидуально во всех 3-6

случаях. В системах с несколькими атомайзерами можно брать только половину или треть ее стоимости, так как в моделирующей программе требуемая максимальная нагрузка увлажнения закладывается 600 кг/ч воды, а стоимость системы обратного осмоса производительностью 1200 кг/ч составляет примерно €14000.

В случае прямого испарительного охлаждения с атомайзером высокого давления (70 бар) период окупаемости составил от 1 до 3,5 лет во всех городах, кроме Шанхая. График показывает, что в Денвере, городе с прохладным полусухим климатом, начальные инвестиции выше, но период окупаемости составит меньше 2 лет. В Шанхае, городе с влажным субтропическим климатом, система прямого испарительного охлаждения дает ограниченную экономию электроэнергии.

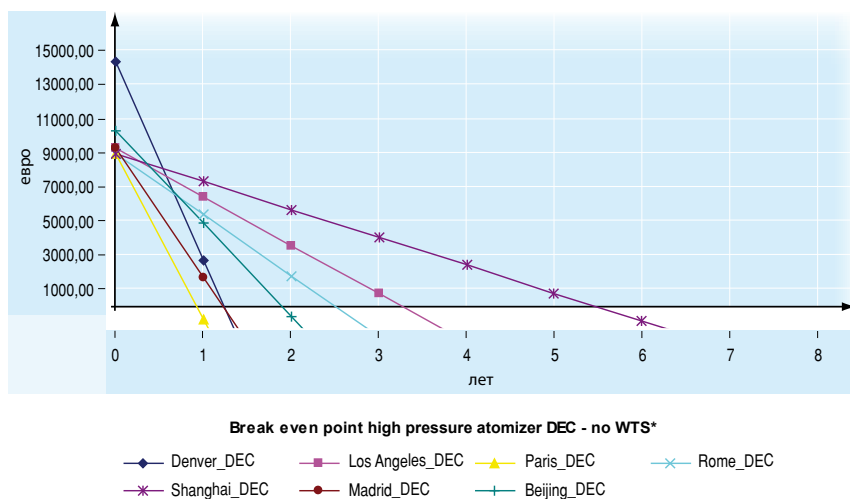


Рис. 3.6 Период окупаемости системы прямого испарительного охлаждения с атомайзером высокого давления

Если в систему охлаждения добавить систему водоподготовки, период окупаемости увеличится. Однако во всех городах кроме Шанхая он в любом случае не превышает 5 лет.

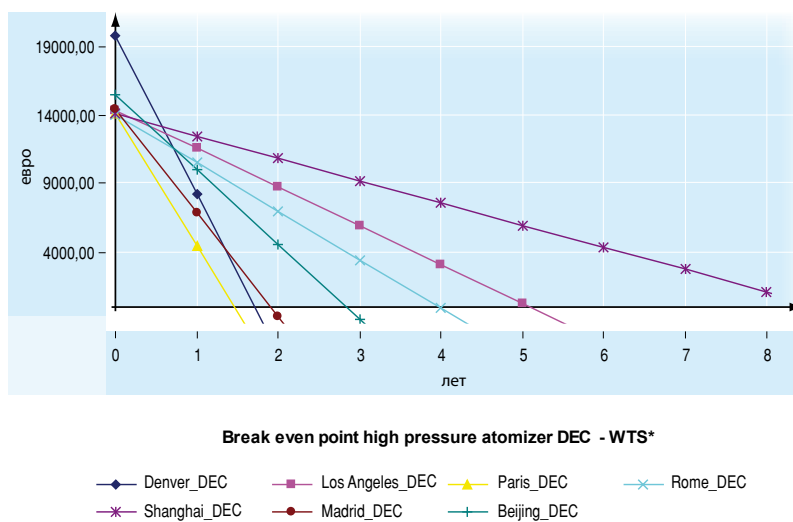


Рис. 3.7 Период окупаемости системы прямого испарительного охлаждения с атомайзером высокого давления и системой водоподготовки

В случае косвенного испарительного охлаждения (IEC) размер первоначальных инвестиций больше из-за второго атомайзера и большего расхода воды, но расход электроэнергии меньше. В Париже время окупаемости системы как прямого, так и косвенного испарительного охлаждения – менее 2 лет.

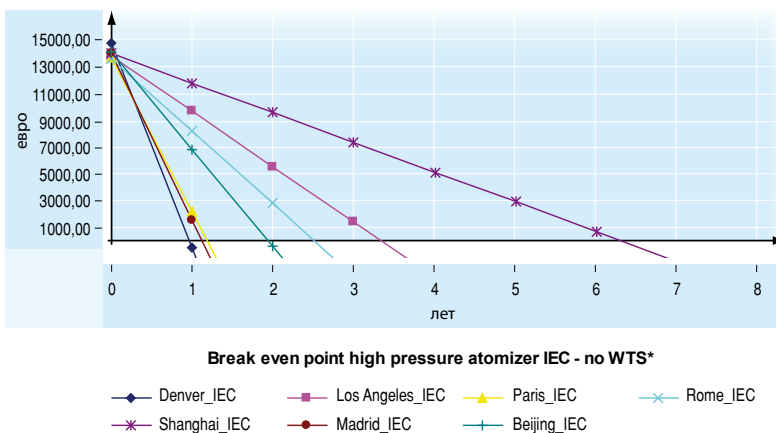


Рис. 3.8 Период окупаемости системы косвенного испарительного охлаждения с атомайзером высокого давления

(*) WTS*: система водоподготовки

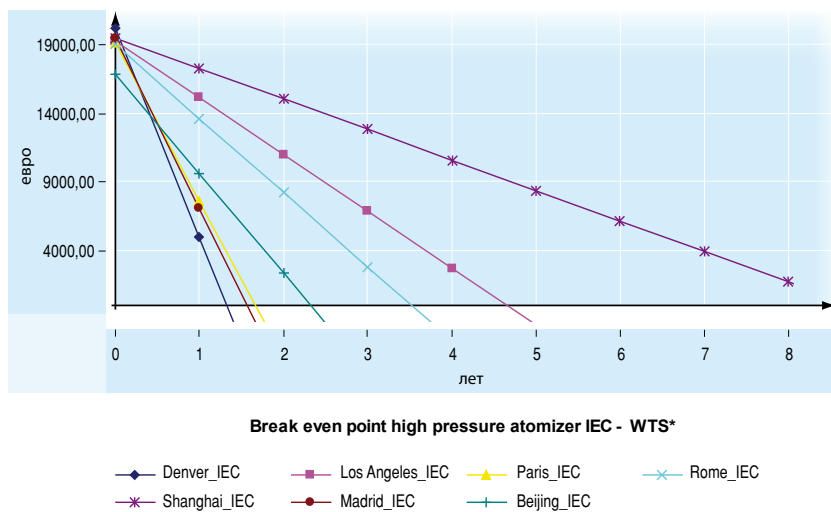


Рис. 3.9 Период окупаемости системы косвенного испарительного охлаждения с атомайзером высокого давления и системой водоподготовки

При использовании атомайзера среднего давления (10 бар) окупаемость наступит быстрее, так как данный атомайзер стоит в два раза дешевле атомайзера высокого давления и система обратного осмоса не используется. Во всех городах период окупаемости системы прямого или косвенного испарительного охлаждения может оказаться менее 3,2 лет.

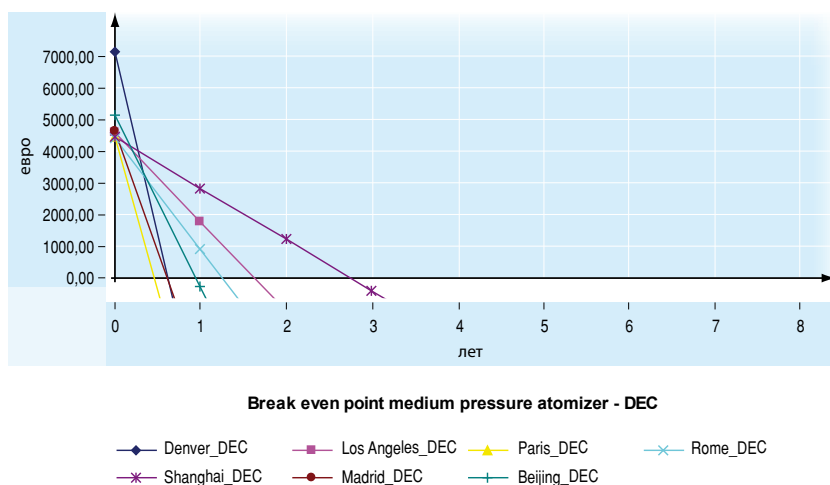


Рис. 3.10 Период окупаемости системы прямого испарительного охлаждения с атомайзером среднего давления

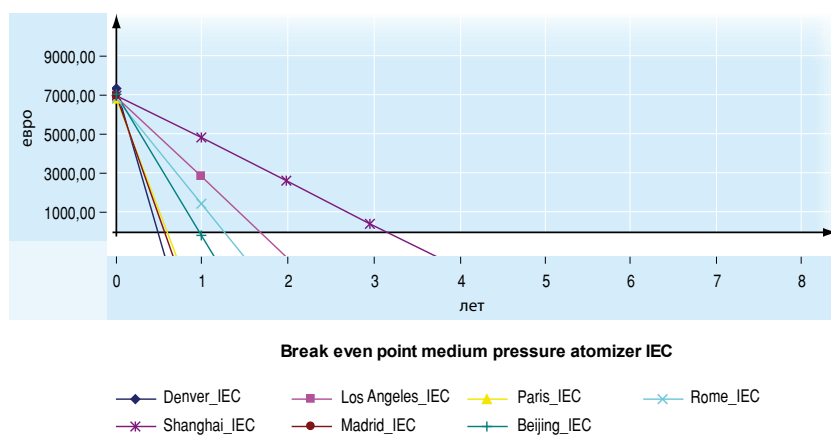
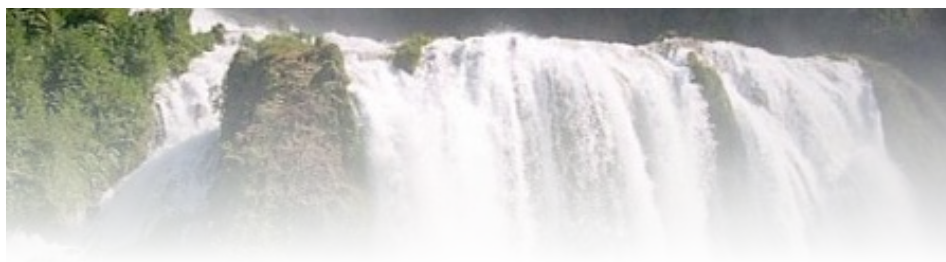


Рис. 3.11 Период окупаемости системы косвенного испарительного охлаждения с атомайзером среднего давления

ПЕРИОД ОКУПАЕМОСТИ (годы) с атомайзером среднего давления		
Город	Прямое испарительное охлаждение	Прямое + косвенное испарительное охлаждение
Денвер	0,7	0,5
Лос-Анджелес	1,7	1,7
Мадрид	0,7	0,6
Париж	0,5	0,6
Рим	1,3	1,3
Шанхай	2,8	3,2
Пекин	1	1



Устройства испарительного охлаждения

Перед проектированием системы испарительного охлаждения необходимо провести анализ требований, поставленных перед системой, и способов оптимального обеспечения соответствия этим требованиям. На рынке существует большое количество оборудования разных типов, каждый из которых имеет определенные преимущества и недостатки:

- увлажнители-воздухоочистители;
- сотовые увлажнители;
- ультразвуковые увлажнители;
- распылительные увлажнители;
- увлажнители с пневмофорсунками.

В действительности срок службы и эффективности работы любого оборудования определяется качеством воды и воздуха, а также периодичностью технического обслуживания. Основными критериями при выборе системы испарительного охлаждения являются рекомендации проектировщиков, составленные совместно с организацией, эксплуатирующей систему, и производителем оборудования. В частности, при выборе системы следует руководствоваться:

1. требованиями по гигиене; условиями окружающей среды; процентом притока свежего воздуха; холодопроизводительностью; местом установки;
2. типом имеющейся воды;
3. имеющимися ресурсами электрической энергии;
4. имеющимся свободным местом;
5. местными законами и нормативами;
6. точностью регулирования микроклимата; уровнем шумов;
7. размером инвестиций; эксплуатационными расходами (обслуживание, расходы на электроэнергию).

Кроме этого, на этапе проектирования необходимо определиться, как должно

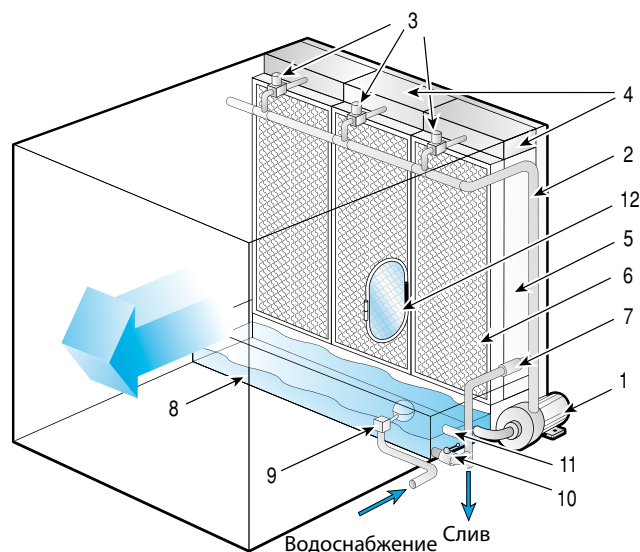
осуществляться охлаждение: в воздуховоде или испарительное охлаждение непосредственно в кондиционируемом помещении.

4.1 Испарительное оборудование

4.1.1 Сотовые увлажнители

Принцип работы: поток воздуха проходит через картридж с большой площадью поверхности, структура которого напоминает соты, или группу спрессованных гофрированных листов, которые увлажняют воздух впитанной ими водой. В отличие от увлажнителей-воздухоочистителей и дисковых увлажнителей, в воздухе не содержатся минеральные соли. Средняя скорость воздуха варьирует от 0,5 до 3 м/с или выше. Кроме непосредственно увлажнения такие увлажнители очищают воздух, так как вышеупомянутые влажные картриджи работают как фильтры. Следует понимать, что когда картридж высыхает, качество фильтрации воздуха снижается.

Применяется в центральных кондиционерах: на рисунке ниже показан сотовый увлажнитель циркулирующего типа для центральных кондиционеров.



1	Циркуляционный насос
2	Распределительный коллектор
3	Регулируемые электромагнитные вентили
4	Водораспределительные головки
5	Увлажняющие элементы
6	Каплеотделители

7	Автоматический смешивающий вентиль
8	Поддон для воды
9	Поплавковый вентиль
10	Ручной сливной кран
11	Избыток воды
12	Смотровое отверстие

Рис. 4.1 Схема модульного сотового увлажнителя циркулирующего типа, установленного в центральном кондиционере

Коэффициент поглощения ϵ находится в пределах от 3 до 10%, и неиспарившаяся вода возвращается обратно (циркулирует). Циркулирующая вода насосом подается из поддона в распределительный коллектор и далее пропускается регулируемые электромагнитными вентилями, если они установлены, на соты увлажнителя. Эффективность насыщения является постоянной величиной и находится в пределах от 60 до 95%. Это обуславливает колебания влажности и усложняет управление устройствами, стоящими за увлажнителем центрального кондиционера (например, воздушонагревателями).

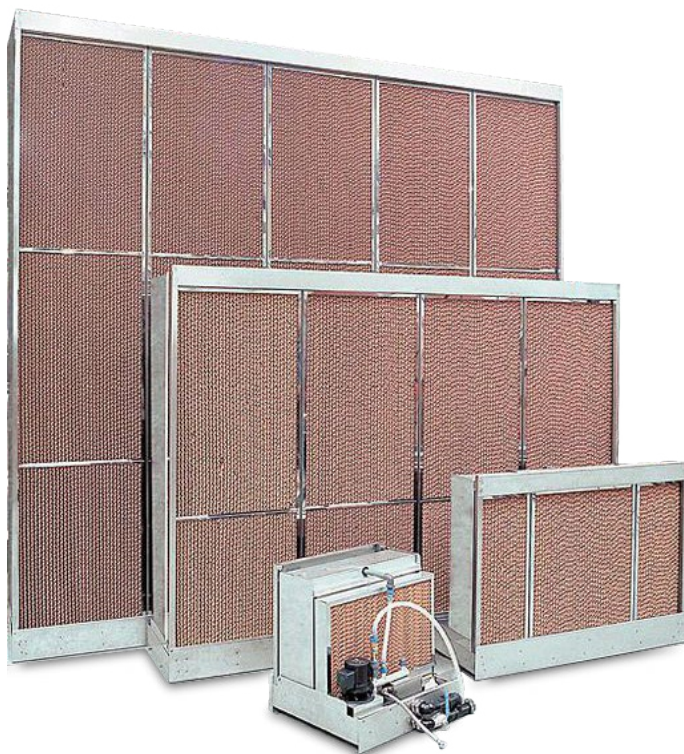


Рис. 4.2 Сотовый увлажнитель для центральных кондиционеров

В качестве испарительной среды в сотовых увлажнителях также может использоваться стекловолно: гигроскопичное, устойчивое к коррозии и огнестойкое по стандарту DIN 4102. По данным производителей, его эффективность насыщения достигает 95%. Необходимыми условиями для нормальной работы таких увлажнителей является хорошее состояние всей площади поверхности, скорость воздуха от 2,0 до 2,5 м/с и циркуляция воды, превышающая номинальную производительность увлажнения в 5–10 раз. Площадь испаряющей поверхности картриджей таких увлажнителей составляет примерно 660 м²/м³ в объеме. Если толщина картриджа 30 см и он имеет стандартную высоту и ширину, площадь испаряющей поверхности материала составляет примерно 3,4 м². Один кубический метр такого материала весит приблизительно 60 кг и способен поглотить до 100 л воды.

Во избежание обрастания и появления бактерий необходимо отслеживать концентрацию солей в воде. Воду следует сливать регулярно, как и в случае увлажнителей-воздухоочистителей. Картридж необходимо регулярно проверять на предмет грязи и обрастаний. Чтобы этого не происходило, лучше использовать подготовленную воду. Кроме этого, в таких увлажнителях можно использовать ультрафиолетовые лампы, предотвращающие развитие микроорганизмов. Работа увлажнителя регулируется насосом. Размер первоначальных вложений достаточно скромнен, но эксплуатационные расходы достаточно высоки, что связано, в основном, со стоимостью водоподготовки (если она используется), обслуживанием, периодической заменой картриджа и чисткой. Во избежание проблем, связанных с циркуляцией воды, можно использовать модели с проточной водой. Однако в этом случае возрастают расходы на воду.

4.1.2 Увлажнители барабанного типа

Применяется в помещениях: увлажнители барабанного типа имеют эффективность насыщения от 30 до 50%. В частности, эффективность насыщения зависит от микроклимата в помещении. Если температура в помещении порядка 20 °С, максимальная относительная влажность составит 60%. Такие увлажнители применяются в офисах, информационных центрах, музеях, помещениях для показа и продажи цветов, музыкальных инструментов и т. д.

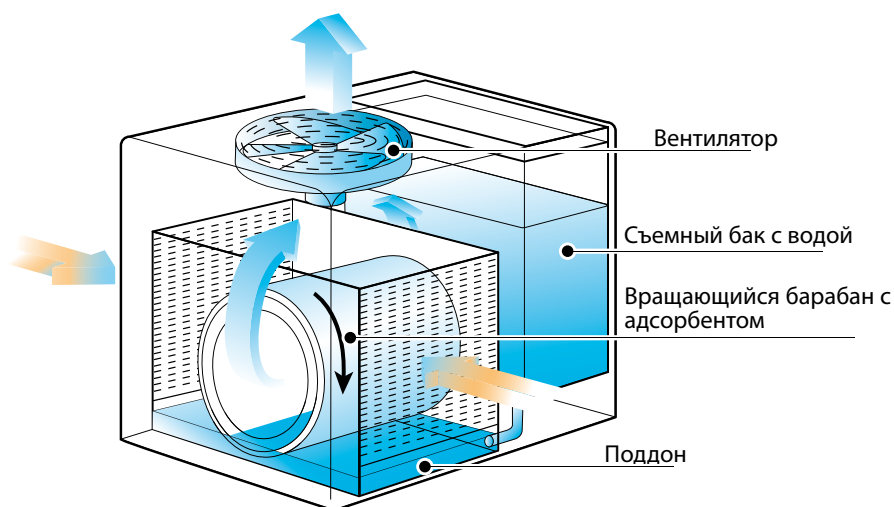


Рис. 4.3 Схема компактного испарительного увлажнителя с барабаном и сменным резервуаром для воды

Принцип работы: при возникновении потребности в увлажнении воздуха барабан с пористым материалом начинает вращаться и погружается в резервуар, наполненный

водой. Одновременно с погружением барабана сухой воздух поступает через боковые стороны увлажнителя, проходит через влажный барабан и выводится через решетку в верхней части увлажнителя. В увлажнителе имеется датчик уровня воды и гигростат. Данные увлажнители достаточно компактны и подходят для установки в любых помещениях.

В зависимости от влажности и температуры в кондиционируемом помещении максимальная производительность увлажнителя таких увлажнителей может достигать 2 л/ч. Расход воздуха регулируется и задается в зависимости от объема кондиционируемого пространства и ограничений по шуму. Водяной поддон, используемый в барабанных увлажнителях, требует регулярной чистки. Вращающийся барабан имеет ограниченный срок службы и заменяется по техническому состоянию.



Рис. 4.4 Компактный увлажнитель барабанного типа

4.2 Распылительные увлажнители (атомайзеры)

4.2.1 Диаметр Саутера

Как правило распределение размеров капелек воды в аэрозоле, создаваемом распылительным увлажнителем, носит статистический характер, похожий на распределение Гаусса, поэтому изучение процесса испарения и сравнение разных дисперсий представляется достаточно сложным. При прочих равных условиях величина испарения пропорциональна суммарной площади поверхности S , где происходит взаимодействие частиц жидкости и окружающего воздуха, поэтому для определения характеристик дисперсии было введено такое понятие, как диаметр Саутера. Это диаметр гипотетического аэрозоля, состоящего из капелек одинакового размера, а их количество и суммарная площадь поверхности S , где

4-5

происходит взаимодействие, такие же, как у образца.

$$(1) \quad S = \sum_{i=1}^n (\pi \cdot D_i^2) = (\pi \cdot D_s^2) \cdot n$$

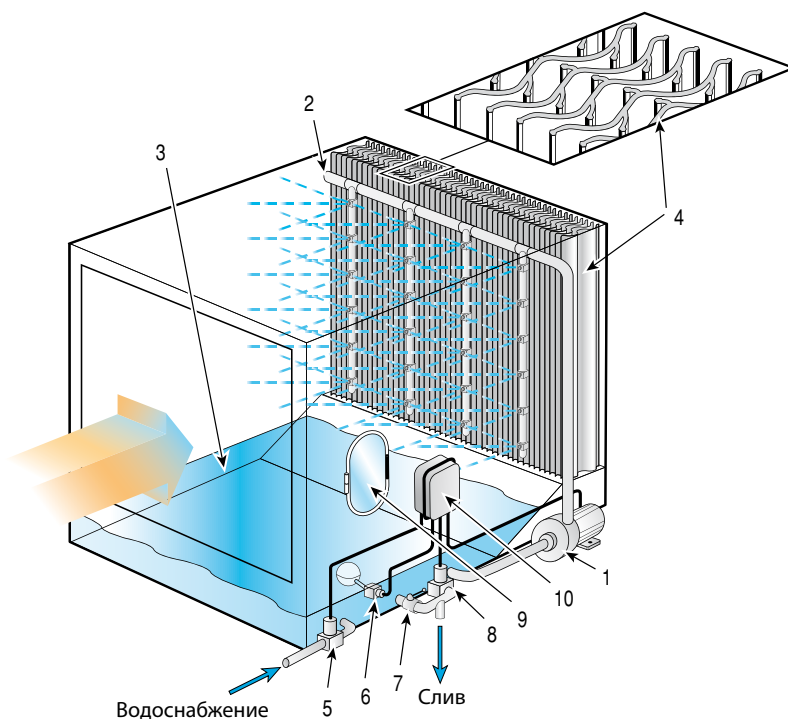
поэтому:

$$(2) \quad D_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n}}$$

4.2.2 Увлажнители-воздухоочистители

Увлажнителями-воздухоочистителями называются простейшие устройства, которые работают по принципу прямого испарения капелек воды в воздушном потоке и обычно устанавливаются в центральные кондиционеры. Название данных устройств происходит от их основного предназначения, которое заключается в удалении пыли и запахов из воздуха. В 1950-е годы эти устройства использовались только в этих целях и лишь впоследствии были модернизированы для увлажнения и охлаждения воздуха.

Принцип работы: в состав таких увлажнителей входит набор распылительных форсунок, поддон для сбора рециркулирующей воды, насос, который перегоняет воду из поддона в распылительные форсунки и каплеуловитель, который задерживает все неиспарившиеся капельки воды и возвращает их в поддон.



1	Циркуляционный насос	6	Датчик уровня
2	Группа распылительных насадок	7	Ручной сливной кран
3	Поддон для воды	8	Сливной электромагнитный вентиль
4	Каплеотделитель	9	Смотровое отверстие
5	Регулируемый электромагнитный вентиль	10	Панель управления

Рис. 4.5 Схема адиабатического увлажнителя-воздухоочистителя, установленного в центральном кондиционере; каплеуловитель

Воздух попадает в камеру охлаждения, где он увлажняется и охлаждается, а затем проходит через каплеуловитель и подается в кондиционируемое помещение по воздуховоду. Поддон для сбора воды комплектуется сливным клапаном, датчиком максимального уровня и поплавковым клапаном для автоматического пополнения. Расход рециркулирующей воды в несколько раз превышает требуемую производительность увлажнения.



Рис. 4.6 Увлажнитель-воздухоочиститель

Эффективность насыщения такого увлажнителя (<70%) зависит от:

- конструкции и размера увлажнителя;
- типа и количества распылительных форсунок;
- направления распыления;
- скорости воздуха (от 2 до 4 м/с, в некоторых случаях до 7 м/с);
- длины камеры увлажнения (от 1,5 до 3 м);
- количества испаряемой воды на кубический метр воздуха (например, 0,3 кг/м³).

Такие увлажнители распыляют воду в виде капелек довольно большого диаметра (от 100 мкм до нескольких миллиметров), поэтому количество получаемых капель на единицу массы воды относительно небольшое, и в результате площадь поверхности соприкосновения воды и воздуха получается меньше, чем в других системах увлажнения, например тех, что распыляют воду под высоким давлением. Тем не менее это достаточно простые и относительно дешевые увлажнители.

Итоговый коэффициент поглощения ϵ получается достаточно низким: от 1 до 3 %. Количество распыляемой воды должно значительно превышать то количество, которое испаряется фактически.

Отношение составляет порядка 1:30, а в некоторых случаях может быть даже 1:100: Другими словами, на каждый килограмм испаряемой воды приходится около 100 кг рециркулирующей воды. Такие характеристики говорят о том, что точно регулировать степень увлажнения воздуха практически невозможно, поэтому наиболее часто используемый способ действует по принципу максимального приближения к насыщению.

Электропотребление увлажнителей-воздухоочистителей в основном приходится на циркуляционный насос. Если давление нагнетания составляет 2 бар, а коэффициент поглощения 1:50, электропотребление такого увлажнителя составит примерно 6–7 Вт на каждый килограмм распыляемой воды в час.

В более сложных вариантах для повышения точности регулирования влажности увлажнители-воздухоочистители комплектуются двумя насосами и двумя группами распылительных форсунок. При неполной нагрузке увлажнения первый насос работает в регулируемом режиме под управлением инвертера, пока не выйдет на 100% своей мощности. Если увлажнение при этом недостаточное, второй насос сразу включается на 100% мощности, а первый снова переходит в регулируемый режим от 0 до 100% мощности.

Давление распылительных форсунок – в диапазоне примерно от 0,3 до 2,8 бар. Диаметр отверстий форсунок зависит от производительности увлажнения и колеблется от 6 до 10 мм.

В конструкции используются такие материалы, как всепогодный покрытый эмалью пластик, который обеспечивает хорошую изоляцию и подходит для чистки моющими составами. При использовании деминерализованной воды должны обязательно использоваться материалы, и в частности указанный пластик, которые применяются в конструкциях центральных кондиционеров.

В таких увлажнителях важную роль играет каплеуловитель, так как отсеивает крупные не испарившиеся капельки воды (до 2 кг воды на кубический метр воздуха). Каплеуловитель имеет несколько специальных секций с изогнутым профилем пластин, которые легко пропускают воздух и водяной пар, но задерживают капли воды. Капли воды, попавшие на стенки секций каплеуловителя, под действием силы тяжести стекают в поддон. Наличие каплеуловителя требует увеличения мощности двигателя вентилятора: при расходе 100 м³/ч примерно на 0,85 Вт на каждый паскаль падения давления.



Рис. 4.7 Каплеуловитель

4.2.3 Защита от микроорганизмов

Если работы по техническому обслуживанию не проводить регулярно или если обслуживание невозможно из-за особенностей конструкции увлажнителя, данный увлажнитель не сможет обеспечить высокую степень гигиены. Тем не менее создание хороших увлажнителей-воздухоочистителей является осуществимой задачей.

Поддон в таком увлажнителе должен располагаться под наклоном, обеспечивающим слив воды. Кроме этого, распределительный коллектор должен размещаться снизу, чтобы вода могла полностью сливаться с распылительных форсунок. При выключении таких увлажнителей должен запускаться автоматический слив воды. Кроме этого, сливное отверстие должно располагаться в самой нижней точке поддона увлажнителя.

Все поверхности увлажнителя должны быть гладкими и не иметь углов, где могла бы скапливаться грязь. Воздухозаборная решетка и каплеуловитель не должны контактировать с водой. Секции из листового металла должны легко сниматься для удобства чистки.

В частности, если увлажнитель долгое время не использовался, в воде может образоваться грибок и плесень. Во избежание этого в увлажнителе должна быть предусмотрена система подогрева воды и слива ее из поддона. В качестве дополнительной меры защиты от загрязнителей воды можно устанавливать датчики электропроводности, сигнализирующие о повышенной концентрации минеральных солей, что может привести к образованию биологической пленки, способствующей развитию бактерий. Увлажнители нуждаются в периодической чистке. Рекомендуется каждый день сливать воду и сушить увлажнитель.

Некоторые производители оснащают свои увлажнители ультрафиолетовыми лампами, предотвращающими развитие микроорганизмов; такая лампа может размещаться в контуре рециркуляции воды или непосредственно в поддоне. Ультрафиолетовые лампы имеют ограниченный срок службы, поэтому нуждаются в периодической замене. Требования по части циркулирующей воды установлены в директиве VDI 3803.



Рис. 4.8 Ультрафиолетовая лампа

4.2.4 Ультразвуковые увлажнители

Ультразвуковые увлажнители, также как распылительные увлажнители и увлажнители сжатого воздуха, распыляют воду, но капли получаются гораздо меньшего размера. Диаметр Саутера составляет от 3 до 5 мкм, поэтому такие капли легко испаряются и подхватываются воздушным потоком. Коэффициент поглощения ε – в диапазоне от 65 до 98%, а эффективность насыщения η достигает 100%. Такие увлажнители имеют компактные размеры и среднюю производительность охлаждения. В состав увлажнителя входит водяной бачок с датчиком уровня – на дне бачка находится пьезоэлектрический элемент, состоящий из керамического диска, который запитывается высокочастотным напряжением от цепи и вибрирует на высокой частоте, как правило 1,65 МГц. Благодаря компактным размерам такие увлажнители подходят для установки в действующие системы кондиционирования (модернизация) или небольшие воздухопроводы.

Принцип работы (Рис. 4.9): диск вибрирует на высокой частоте, но вода не может двигаться синхронно с вибрациями диска в силу инертности своей массы. При включении увлажнителя (1) над пьезоэлементом образуется столбик воды. Когда колебания диска направлены вниз, возле пьезоэлемента образуется область пониженного давления, в которой возникает кавитация и образуются пузырьки. Когда колебания диска идут вверх, пузырьки устремляются вверх столбика воды. Таким образом, в верхнем поверхностном слое воды образуются очень маленькие капельки воды.

Во время адиабатического процесса эти капельки воды очень быстро поглощаются сухим воздухом. Как правило ультразвуковые увлажнители максимального типоразмера имеют суммарную паропроизводительность не более 10 кг/ч при размещении непосредственно в помещениях и 20 кг/ч при установке в воздухопроводах. Суммарная потребляемая мощность составляет примерно 50–110 Вт на каждый килограмм распыляемой воды в час. В состав увлажнителя может входить регулятор производительности, позволяющий менять ее от 0 до 100%. При использовании стандартной мембраны (керамического диска) производительность составляет от 0,45 до 0,60 кг/ч; большую производительность можно получить за счет применения модульной конструкции, где одновременно используется определенное количество мембран, каждая из которых имеет собственную цепь высокочастотного напряжения, но все они управляются централизованно. В результате получается надежный и достаточно точный увлажнитель, погрешность которого не превышает 1% относительной влажности.

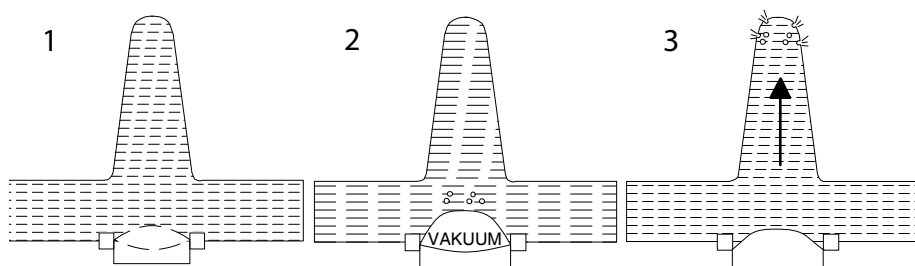


Рис. 4.9 Процесс формирования капелек воды в ультразвуковом увлажнителе

Применяется в центральных кондиционерах: увлажнители устанавливаются горизонтально, чтобы водяной туман равномерно распределялся в потоке воздуха. Скорость воздуха должна составлять от 1,5 до 3 м/с. Стальной поддон размещается внутри секции увлажнителя.



Рис. 4.10 Ультразвуковой увлажнитель для воздуховодов

Водоподготовка: для ультразвуковых увлажнителей необходима деминерализованная вода, так как, во-первых, это снижает работы по обслуживанию пьезоэлемента, а во-вторых, растворенные в обычной воде соли не попадут в кондиционируемые помещения. Образующаяся пленка накипи на пьезоэлектрическом диске постепенно меняет резонансную частоту, что приводит к порче диска. Диск можно заменить, но это существенно сказывается на эксплуатационных расходах увлажнителя.

Если увлажнитель не используется в течение долгого времени, вода в бачке может застаиваться, что влечет за собой опасность появления бактерий. Поэтому современные автоматизированные увлажнители комплектуются автоматическим сливным вентилем, который периодически сливает воду из бачка, и он остается сухим до заливки свежей воды при следующем включении увлажнителя.

Применяется в помещениях: простейшие модели, имеющиеся на рынке,

предназначены в основном для применения в жилых домах. Поэтому они достаточно компактны, вода заливается вручную, а бак достаточно большого размера, которого хватает на несколько часов работы увлажнителя перед необходимостью его пополнения. На рисунке показаны некоторые модели увлажнителей, имеющиеся на рынке.



Рис. 4.11 Ультразвуковые увлажнители: компактная модель и вариант для установки в фанкойлы

4.2.5 Увлажнители с пневмофорсунками

В состав такого увлажнителя входит блок управления, который по двум независимым линиям подает на распылительные форсунки сжатый воздух и воду под оптимальным давлением в зависимости от текущих условий работы. В каждой распылительной форсунке сжатый воздух расширяется, и его скорость значительно увеличивается, поэтому образуется область пониженного давления, куда и засасывается вода, которая, в свою очередь, разбивается на капельки и уносится к отверстиям форсунок. Существует множество различных конструкций распылительных форсунок, отличающихся по типам контакта между воздухом и водой: например, на следующем рисунке показано, что стенки тороидальной камеры, где происходит расширение воздуха, имеют специальную форму, способствующую тому, что возле распылительной форсунки достигается идеальная скорость, а форма струи из форсунки получается оптимальной формы. Вода засасывается в струю воздуха через отверстие в центре расширительной камеры, а именно в точке максимальной скорости и *турбулентности*.

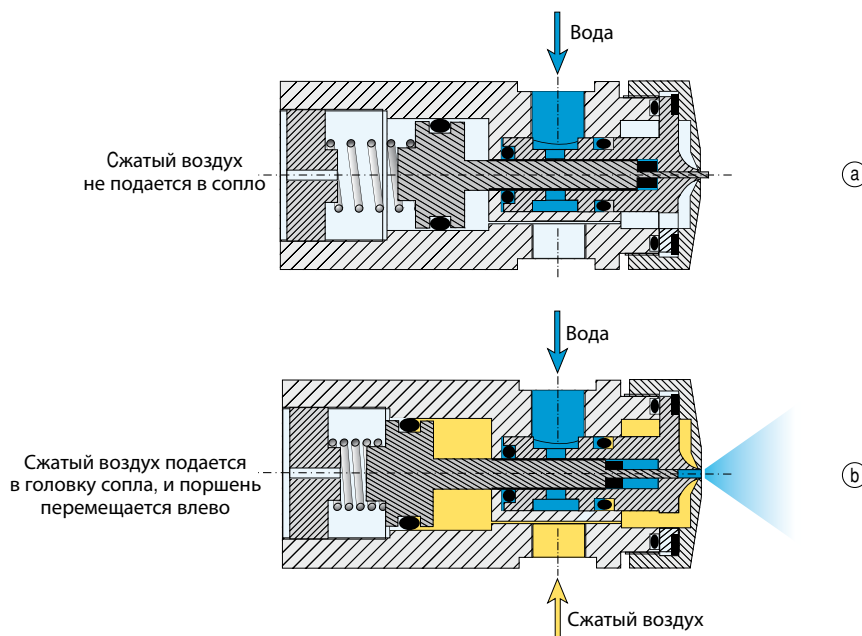


Рис. 4.12 Распылительная пневмофорсунка

Подвижная игла в выходном отверстии форсунки выполняет две функции: регулирование и чистка. Когда форсунка находится в состоянии покоя (т. е. давления воздуха нет), пружина выдвигает поршень и вместе с ним иглу вперед. Игла входит в отверстие и очищает его от отложений. Эта операция может периодически происходить и во время работы увлажнителя.

Как только давление воздуха превысит силу давления пружины, игла втягивается обратно, постепенно открывая калиброванное отверстие и выпуская все больше воды. Таким образом, можно очень точно регулировать распыление каждой форсунки. Каждая форсунка может распылять от 2 до 10 кг воды в час и более. Для этого требуется сжатый воздух, количество которого зависит от целого ряда переменных, но как правило требуется от 0,7 до 1,3 Н·м³ на каждый килограмм воды.

Коэффициент поглощения ϵ находится в пределах от 65 до 98%, а эффективность насыщения η достигает 100%. Поэтому циркуляция воды не требуется, а значит уровень гигиены достаточно высок.

Номинальное давление нагнетания сжатого воздуха зависит от конструкции распылительных форсунок. На рынке можно найти распылительные форсунки, рассчитанные на давление от 2 до 7 бар и выше, но чаще всего из соображений более тихой работы в увлажнителях применяется давление до 2–3 бар. В более новых моделях распылительные форсунки изготавливаются из нержавеющей стали, которая устойчива к истиранию от проходящей через форсунку на высокой скорости воды и воздуха. Кроме этого, такие форсунки более устойчивы к повышенной агрессивности деминерализованной воды и предусматривают возможность многократной механической и/или химической чистки. Расход распыляемой воды контролируется блоком управления, который регулирует давление подачи сжатого воздуха и воды.

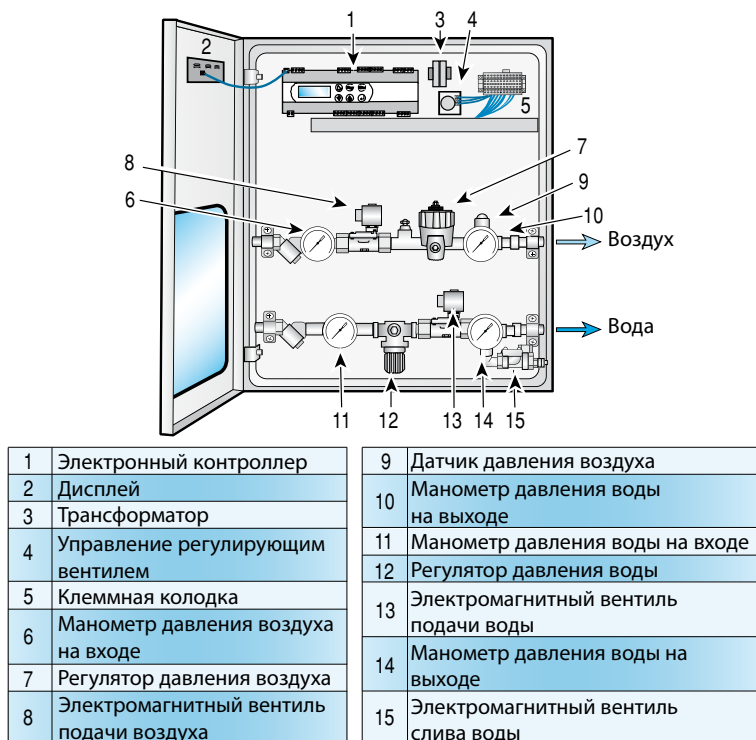


Рис. 4.13 Основные компоненты блока управления увлажнителя высокого давления

В секции сжатого воздуха, который обычно подается компрессором под давлением 7 бар, установлен сервоклапан, снижающий давление, и датчик, измеряющий давление: электронный блок управления, контролируя работу клапана, регулирует давление на распылительных форсунках в зависимости от текущих требований по увлажнению. Номинальная производительность этих увлажнителей находится в пределах от 20 до 250 кг/ч.

Применяется в помещениях: основное преимущество таких увлажнителей заключается в крошечных размерах распыляемых ими капель и полному смешению со сжатым воздухом за счет высокой скорости, поэтому распыляемая вода очень быстро поглощается воздухом в помещении, без остатка или с минимальным остатком.

Таким образом, увлажнители прекрасно подходят для охлаждения непосредственно в помещениях и представляются идеальным решением для текстильных фабрик, деревообрабатывающих и бумажных комбинатов, а также складских помещений, где практически всегда имеются источники сжатого воздуха.

Распылительные форсунки лучше всего размещать под потолком помещения, но не ниже 2 м над полом и на удалении 4 м от ближайших предметов. Это необходимо для того, чтобы капли воды полностью поглощались воздухом.



Рис. 4.14 Размещение распылительных форсунок в увлажняемом помещении

Применяется в центральных кондиционерах: часто системы на сжатом воздухе используются для увлажнения внутри воздуховодов или центральных кондиционеров, см. рисунок.

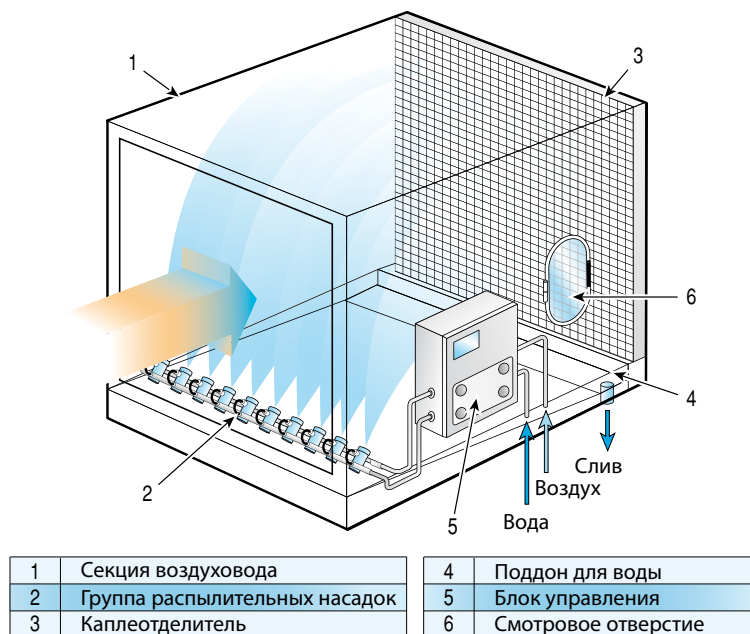


Рис. 4.15 Схема расположения в воздуховоде основных компонентов увлажнителя с пневмофорсунками

Преимущества данного решения, в частности большой коэффициент поглощения и короткая дистанция распыления, могут теряться, если количество распылительных форсунок слишком мало (и которые, следовательно, распределены не оптимально и не равномерно) по сравнению с атомайзерами высокого давления.



Рис. 4.16 Размещение распылительных форсунок в центральных кондиционерах

Если анализировать эксплуатационные расходы, то кроме обычного электропотребления следует учитывать расходы, связанные со сжатым воздухом. Распылительные пневмофорсунки не сильно страдают от засорений, так как, во-первых, они чистятся специальными иглами, а во-вторых, выпускное отверстие не очень мало. При необходимости их достаточно легко очистить. Сжатый воздух должен хорошо фильтроваться, и из него следует удалять капли масла, так как масло приводит к загрязнению и появлению отложений в отверстиях форсунок.

После таких увлажнителей также следует ставить каплеуловитель, так как у всех распылительных увлажнителей существует опасность проникновения в кондиционируемое помещение минеральной пыли, образующейся из растворенных в воде солей. Поэтому в увлажнителях с пневмофорсунками обычно рекомендуется использовать воду с как минимум умеренным содержанием минералов (с содержанием солей менее 70–100 мг/л). Особых комментариев по поводу гигиены нет, так как не испарившаяся вода если и присутствует, то в очень незначительном количестве, сливается и не влияет на развитие бактерий.

4.2.6 Распылительные увлажнители высокого давления

Принцип работы: данные увлажнители имеют распылительные форсунки, которые формируют мелкодисперсный аэрозоль и используют потенциальную энергию, передаваемую воде специальным объемным насосом под высоким давлением (от 20 до 140 бар). За счет вихревого движения, которое создается в идущей с высокой скоростью струе воды, или, напротив, за счет разбиения струи воды об иглу особой формы, струя воды распыляется на мельчайшие капельки с диаметром Саутера порядка 10–20 мкм. В результате коэффициент поглощения доходит до 98%, а эффективность насыщения может достигать 100%. Это означает, что ни поддон, ни циркуляция воды не требуются и такой увлажнитель обеспечивает очень высокий уровень гигиены. Как правило расход воды распылительной форсунки при номинальном рабочем давлении составляет от 2,5 до 15 кг/ч, а диаметр выпускного отверстия - от 0,1 до 0,4 мм.

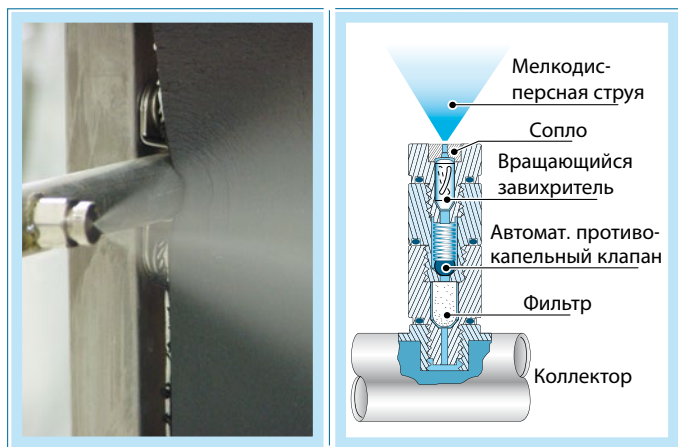


Рис. 4.17 Распылительная форсунка вихревого типа

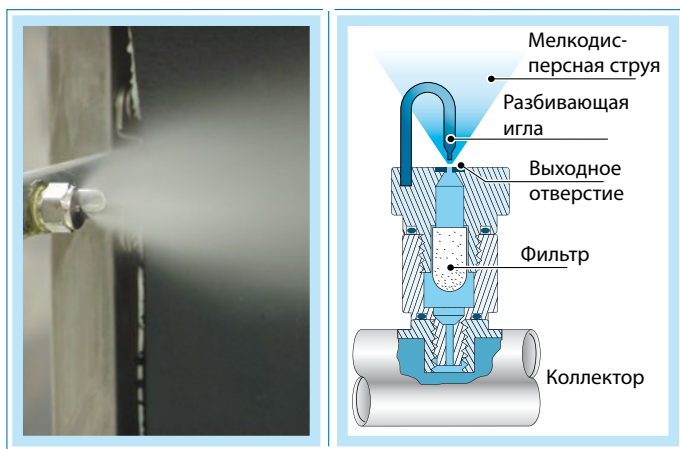


Рис. 4.18 Распылительная форсунка с иглой

Основные компоненты увлажнителей данного типа:

- насосный агрегат / блок нагнетания давления;
- группа распылительных форсунок;
- каплеуловитель (для увлажнения в воздуховодах);
- система управления.

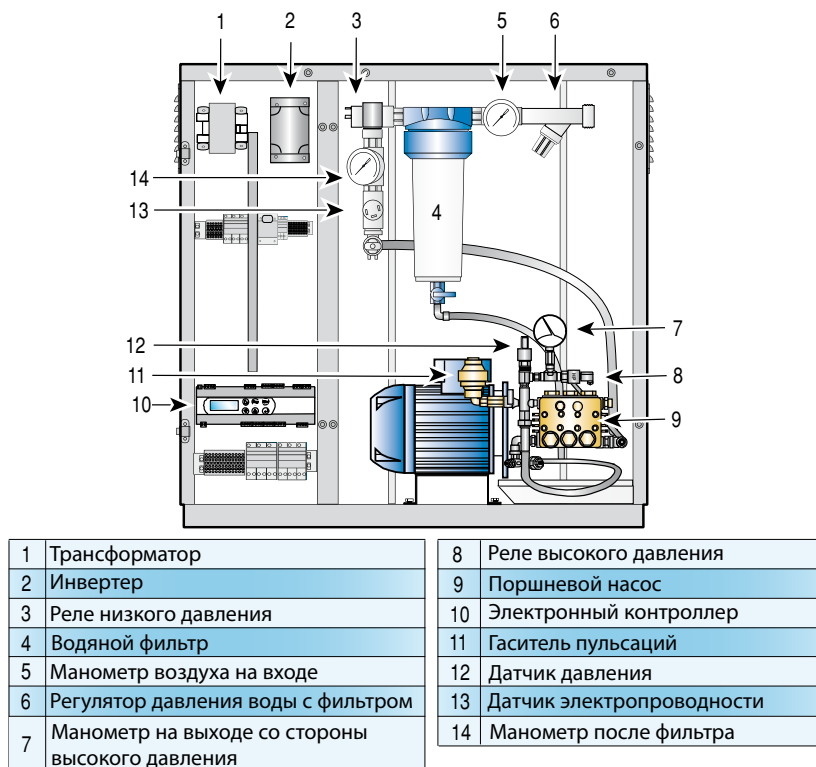


Рис. 4.19 Насосный агрегат

Применяется в помещениях: если увлажнение осуществляется непосредственно в помещениях, распылительные форсунки ввинчиваются в равномерно расположенные фитинги трубок, которые крепятся на стены или стойки.



Рис. 4.20 Распылительные форсунки, смонтированные на стене

Другой вариант заключается в использовании вентиляторных распределителей: распыляемая вода разбивается форсунками на мельчайшие капли диаметром 10–15 мкм и подхватываются воздухом, нагнетаемым вентилятором, и поэтому испаряется быстрее, чем в стандартных увлажнителях без принудительного потока воздуха; кроме этого, траектория движения капель воды практически горизонтальная.



Рис. 4.21 Вентиляторный распределитель

В обоих случаях необходимо обеспечить некоторое свободное пространство вокруг увлажнителя, чтобы капли воды не осаждались на предметы в помещении.

Применяется в центральных кондиционерах: для применения в воздуховодах и центральных кондиционерах используется сборная стойка, состоящая из коллекторов, расположенных на одинаковом расстоянии и идущих параллельно друг другу. Таким образом, фитинги коллекторов образуют геометрически правильную решетку. В каждый фитинг ввинчивается распылительная форсунка или заглушка, за счет чего можно сконфигурировать требуемую систему увлажнения.



Рис. 4.22 Распределительная стойка

Все коллекторы стойки могут работать по отдельности, используя электромагнитный вентиль, подающий воду в коллектор или пускающий ее в обход. Дополнительный инвертер обеспечивает точное регулирование суммарного расхода распыляемой воды. Как правило модульные стойки и аксессуары к ним изготавливаются из нержавеющей стали и устойчивы к коррозии и образованию бактерий. Поскольку в таких увлажнителях распыляемая вода практически никогда не испаряется полностью, при установке в воздуховодах оставшиеся капельки воды необходимо отделить от потока воздуха на выходе из «камеры увлажнения», т. е. секции, предназначенной для испарения капель воды. Поэтому для отсеивания капель воды диаметром порядка нескольких микрон следует устанавливать каплеуловитель.



Рис. 4.23 Каплеуловитель из нержавеющей стали

Расстояние между распылительной стойкой с форсунками и каплеуловителем называется «свободным участком», и его длина обычно находится в пределах от 0,7/1,2 до 1,5 м. Тем не менее, учитывая высокую точность регулирования расхода воды, можно сократить это расстояние за счет 1-ступенчатого нагрева воздуха

только перед увлажнителем. Коэффициент поглощения ϵ можно увеличить разными способами:

- изменяя разницу в относительной влажности ($\Delta rh\%$) воздуха на входе и выходе увлажнителя;
- изменяя диаметр и статистическое распределение капелек воды в аэрозоле;
- изменяя время контакта аэрозоля с воздухом пропорционально длине так называемого «свободного отрезка» камеры увлажнения и обратно пропорционально средней скорости воздуха;
- изменяя конусность водяного аэрозоля на выходе из форсунки;
- устранив преграды, находящиеся на траектории движения распыляемой воды, или помехи в виде стенок воздуховода;
- обеспечив равномерное распределение распылительных насадок в секции увлажнения.

Расход распыляемой воды регулируется дискретно, то есть насос запускается по мере необходимости увлажнения, а вода на распылительные форсунки подается напрямую или через электромагнитный вентиль, имеющий два положения — открыто и закрыто. В этом случае насос работает с постоянной скоростью, поэтому, с учетом того что это насос объемного типа, расход практически постоянный.

Количество распыляемой воды прямо пропорционально количеству распылительных насадок, на которые электромагнитный вентиль подает воду, что обеспечивает простой и экономичный способ регулирования. Дискретное регулирование расхода воды (со ступенями регулирования) обычно хорошо подходит для регулирования увлажнения непосредственно в больших пространствах, так как инертная масса пространства компенсирует нерегулярность расхода распыляемой воды. И напротив, при увлажнении через воздуховоды и/или с минимальным потреблением энергии и воды чаще всего необходимо, чтобы расход воды строго соответствовал требованиям и регулирование происходило без перерывов, для чего можно использовать секции с разным количеством распылительных форсунок под управлением микропроцессора. На рисунке ниже показана система с 12 распылительными форсунками, разделенными на 3 контура, каждый из которых контролируется отдельно. В контуре №1 задействовано две форсунки и на него приходится 17% (2/12) общего расхода воды; контур №2 имеет 4 форсунки, и на него приходится 33% (4/12) общего расхода воды, и т.д. На рынке имеются системы, поддерживающие 64 ступени регулирования расхода воды.

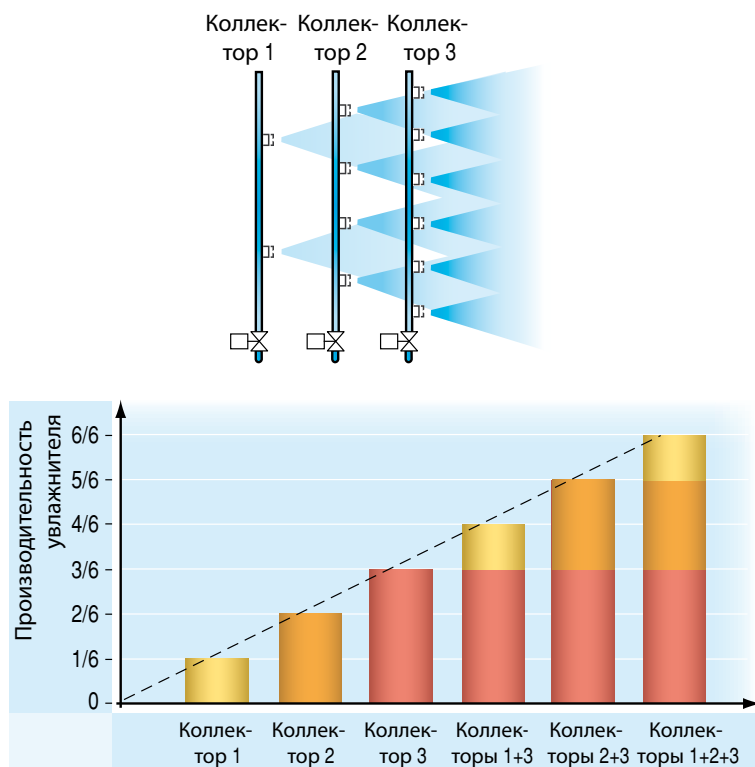


Рис. 4.24 Пример регулирования расхода воды за счет отключения разных контуров стойки

Чтобы добиться еще большей точности регулирования расхода воды, строго пропорционального запросу увлажнения, и при этом обеспечить экономию электричества, можно использовать инвертер, управляющий скоростью насоса. Уменьшение расхода воды влечет снижение давления подачи воды, следовательно средний диаметр капель воды увеличится, а эффективность испарения снизится.

Для поддержания минимального давления при снижении расхода необходимо отключить один контур стойки, увеличив давление до максимально возможного. Если отключить еще один контур с распылительными форсунками, можно еще больше снизить расход воды, сохранив высокую степень точности регулирования. Так можно продолжать вплоть до достижения минимального расхода, при котором не происходит перегрев двигателя, работающего от инвертера. Во избежание колебаний в процессе регулирования, количество распылительных форсунок, работающих на каждой ступени регулирования, должно быть таким, чтобы сохранялся некоторый запас по расходу.

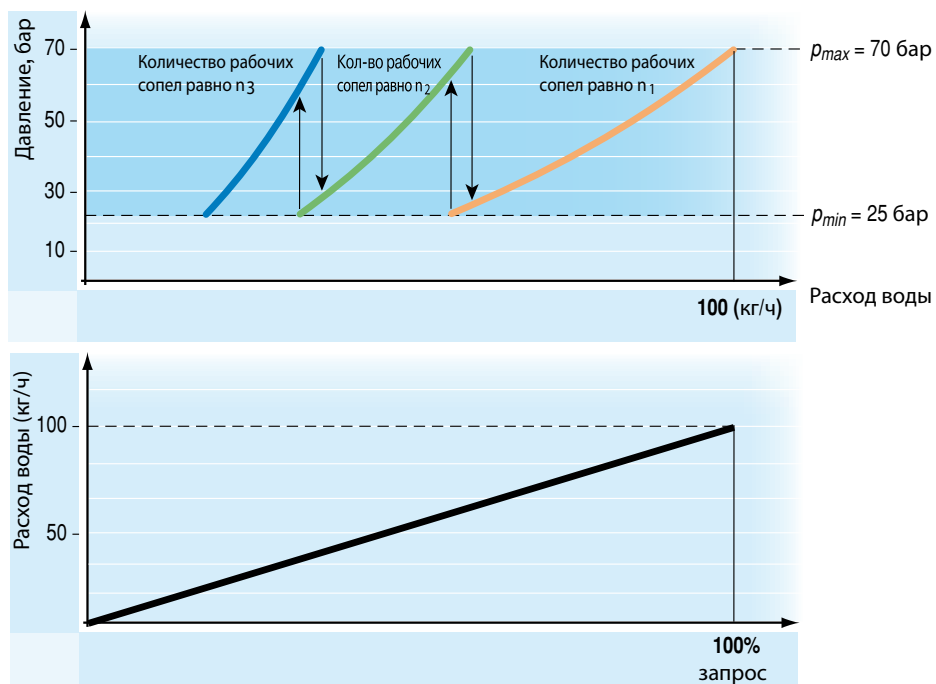


Рис. 4.25 График давления и производительности, позволяющий оптимизировать точность, надежность, расход воды и электропотребление

РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ УВЛАЖНИТЕЛИ ДЛЯ ВОЗДУХОВОДОВ / ВОЗДУШНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ						
	Стандартная производительность	Мощность потребления Вт/(кг/ч)	Диаметр капли по Саутеру	Эффективность насыщения η	Коэффициент поглощения воды ε	Водоподготовка (рекомендуется дополнительная подготовка)
Увлажнители-воздухоочистители	10 ÷ >1000 kg/h	6÷ 7 ⁽¹⁾	200 μm ÷ 2 mm	< 70%	1%± 3%	Ограничение концентрации за счет автоматического периодического слива
Вода под давлением	< 3÷ 5000 kg/h	<4÷ 7 ⁽²⁾	10 ÷ 20 μm	До 100%	65%± 95%	Деминерализация
Сжатый воздух	< 3÷ >250 kg/h	70÷ 110 ⁽²⁾	8 ÷ 10 μm	До 100%	65%± 95%	Как минимум частичная деминерализация
Ультразвуковой	0.5÷ 20 kg/h	50÷ 60 ⁽²⁾	3 ÷ 5 μm	До 100%	65%± 98%	Деминерализация, автоматический периодический слив воды из банка
ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ УВЛАЖНИТЕЛИ						
Барабанный	< 10 kg/h	10÷ 15	-	30%± 50%	-	Ограничение концентрации (периодический слив воды из поддона)
Холодный с циркуляцией воды	10÷ > 1000 kg/h	0.5÷ 1	-	60%± 95%	3%± 10%	Ограничение концентрации за счет слива
Холодный без циркуляции воды	10÷ > 1000 kg/h	≈0	-	60%± 95%	15%± 30%	Рекомендуется деминерализация

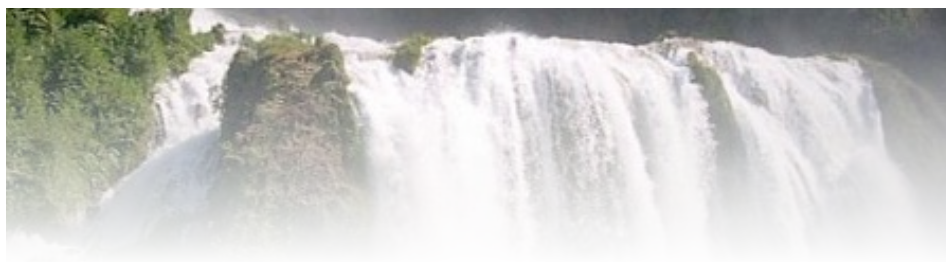
(1) данные, соответствующие **номинальной** производительности увлажнителя;
(2) данные, соответствующие **фактической** производительности увлажнителя (пропорционально скорости расхода распыляемой воды).

Табл. 4.1 Сводная таблица разных типов увлажнителей для воздуховодов

РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ УВЛАЖНИТЕЛИ				
	Стандартная производительность	Мощность потребления Вт/(кг/ч)	Диаметр Саутера (дисперсия)	Водоподготовка (рекомендуется дополнительная подготовка)
Вода под давлением	3 ÷ 5000 kg/h	4÷ 7 ⁽²⁾	10 ÷ 20 µm	Деминерализация
Сжатый воздух	3 ÷ 230 kg/h	70 ÷ 110 ⁽²⁾⁽³⁾	8 ÷ 10 µm	Как минимум частичная деминерализация
Ультразвуковой с вентиллятором	0.5 ÷ 10 kg/h	80 ÷ 100 ⁽¹⁾	3 ÷ 5 µm	Деминерализация (периодический слив воды из бачка)
ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ УВЛАЖНИТЕЛИ				
Барабанный с вентиллятором	< 2 kg/h	10 ÷ 30 ⁽¹⁾	Нет	Ограничение в бачке и при доливе воды

(1) данные, соответствующие номинальной производительности увлажнителя;
(2) данные, соответствующие фактической производительности увлажнителя (пропорционально скорости расхода распыляемой воды);
(3) включая потребление воздушного компрессора.

Таблица 4.2 Сводная таблица разных типов увлажнителей непосредственно для помещений



Энергоэффективность дата-центров

Постоянное развитие современных информационно-коммуникационных технологий (ICT) и развитие Интернета привело к появлению большого количества новых дата-центров. По экспертным оценкам, в 2006 г. суммарное электропотребление дата-центров Германии составило 8,67 млрд кВт·ч. Аналогичное количество энергии за год вырабатывают три угольных электростанции среднего размера. Если принять в расчет объем выбросов углекислого газа (CO_2) этих электростанций, станет очевидно, что повышение эффективности электропотребления позволит сохранить экологию и сократить наносимый ей вред.

Исследования, проведенные в институте Borderstep, показали, что в период с 2000 по 2006 гг. расходы дата-центров на электричество увеличились втрое. Аналогичные результаты для американских дата-центров были опубликованы американским Агентством по защите окружающей среды (EPA). Маркетинговые опросы, проведенные экспертами исследовательской компании Experton среди ответственных сотрудников в области информационно-коммуникационных технологий в Германии, показали, что только 7% опрошенных знают, сколько электроэнергии требуется для вычислительных систем, которые находятся в их юрисдикции. Поэтому неудивительно, что температура в дата-центрах зачастую снижается до 18 °C, хотя информационные системы могут нормально работать при температуре до 26 °C. Ошибки, допускаемые на стадии проектирования системы, а впоследствии и в процессе регулирования микроклимата зачастую объясняются недостаточным взаимодействием при принятии важных решений между руководителями вычислительных центров, ответственных за электропотребление центров, и специалистами в области информационно-коммуникационных технологий.

Воспрепятствовать изменению климата нашей планеты можно только при помощи

внедрения инноваций в область информационно-коммуникационных технологий. Проблема сокращения потребления электричества принесет ощутимые плоды, заставит иначе взглянуть на природные ресурсы и расходовать их более эффективно, сократятся эксплуатационные расходы, появится поле для инновационных подходов, а значит и новые рабочие места. Кроме этого, новые технологические решения позволят решить экономические проблемы и сохранить экологию.

В настоящей главе рассмотрены некоторые практические решения, позволяющие повысить эффективность электропотребления в различных ситуациях.

5.1 Увеличение потребления электроэнергии

Анализ оборудования, устанавливаемого в дата-центрах, показывает, что на долю информационных систем приходится только половина всей расходуемой электроэнергии. Другая половина расходуется системами кондиционирования воздуха и источниками бесперебойного питания (ИБП). На следующем графике показано электропотребление дата-центров США за период с 2000 по 2006 гг. Если рассматривать область информационно-коммуникационных технологий (ICT), то увеличение электропотребления в основном связано со значительным увеличением количества так называемых высокообъемных серверов (volume servers), представляющих собой небольшие устройства стоимостью менее 25000 долларов по ценам 2011 г. Кроме этого, постоянный рост объемов данных означает существенное увеличение потребления электричества системами, хранящими эти массивы данных. На сегодняшний день порядка 15% потребляемой электроэнергии приходится непосредственно на информационные системы.



Рис. 5.1 Электропотребление по типу оборудования

5.2 Проблемы проектирования и эксплуатации

Растущее потребление электроэнергии является главной проблемой при проектировании и эксплуатации дата-центра. Удельная мощность потребления значительно выросла за последние годы, а электропотребление каждого шкафа оборудования увеличилось за последние годы втрое (по данным на 2006 г.). Теперь нет ничего удивительного в вычислительных центрах, удельная мощность потребления которых достигает 2500 и более Вт/м². Поэтому перед руководством вычислительных центров встают следующие вопросы:

1. Есть ли гарантии удовлетворения требований по электропотреблению? Поставщики электроэнергии подчас не в состоянии удовлетворить растущие запросы, особенно это касается плотно населенных областей. Какие существуют варианты снижения электропотребления?
2. Как рассеивать тепло, выделяемое в дата-центре? Могут ли с этим справиться существующие системы кондиционирования воздуха? Как их оптимизировать или модернизировать с учетом текущих требований, чтобы добиться экономии электропотребления?
3. Какая схема управления охлаждением лучше подойдет для наиболее энергозатратных шкафов оборудования? На рынке имеются шкафы, мощность потребления которых достигает 30 и более кВт. Как избежать появления участков сильного локального нагрева и как лучше всего охлаждать такие участки?
4. Какая политика инвестиций сможет гарантировать минимальные совокупные затраты содержания (TCO) дата-центров? Кроме расходов на оборудование, проектирование, реализацию и ведение проекта, очень важно включить в расчеты расходы на электричество.

В следующих параграфах рассмотрены методики, позволяющие получить ответы на все эти вопросы.

5.3 Измерение температуры и электропотребления

Оптимизацию электропотребления дата-центра всегда следует начинать с измерения температуры и энергопотребления. Многие компании, использующие дата-центры, не в состоянии четко обозначить электропотребление информационного отдела компании в процентах от суммарного электропотребления всей компании. Это происходит потому, что во многие бюджеты заложены расходы на проектирование, покупку и обслуживание информационных систем, но не заложены расходы на электроэнергию. Как правило эти расходы заносятся руководителем в графу общих расходов. Для оценки эффективности электропотребления существует множество разных показателей. Например, в дата-центре с высокой эффективностью электропотребления отношение суммарного электропотребления к электропотреблению серверов (коэффициент эффективности электропотребления инфраструктуры предприятия) равен примерно 1.5. Однако для некоторых дата-центров данный показатель может оказаться в пределах от 2 до 3. Это означает, что кроме электричества, потребляемого оборудованием, вдвое больше электричества расходуется системой кондиционирования воздуха, источниками бесперебойного

питания и другим оборудованием. Существует специальное программное обеспечение, которое позволяет постоянно отслеживать и подсчитывать эти значения электропотребления, помогая находить потенциальные возможности для повышения эффективности электропотребления.

Консорциум Green Grid (США)

PUE	Эффективность электропотребления: отношение суммарного электропотребления к электропотреблению вычислительной техники
DCE	Эффективность дата-центра: отношение электропотребления вычислительной техники к суммарному электропотреблению. ($= 1/\text{PUE}$)
IEP	Электропотребление вычислительной техники: электропотребление вычислительной техники, необходимое для хранения, обработки и маршрутизации данных
TFP	Общее электропотребление дата-центра: суммарное электропотребление дата-центра, включая электропотребление системы кондиционирования воздуха (охлаждение), источников бесперебойного питания, освещения, систем мониторинга и др.

Центр Uptime Institute (США)

SI-EER	Коэффициент эффективности электропотребления инфраструктуры центра: отношение суммарного электропотребления вычислительного центра к электропотреблению вычислительной техники
IT-PEW	Производительность вычислительной техники на ватт: значение, позволяющее сравнить производительность вычислительной техники (транзакции по локальной сети, хранение данных или вычислительные операции) с электропотреблением, необходимым для обеспечения такой производительности.
DC-EER	Результат умножения коэффициента SI-EER на коэффициент IT-PEW

Показатели эффективности электропотребления дата-центров

5.4 Контроль температуры и электропотребления

Современные измерительные приборы могут оперативно отслеживать все источники потребления электроэнергии дата-центров вплоть до отдельного активного или пассивного элемента. Для получения оперативных сведений о температуре можно использовать, например, инфракрасные видеокамеры. И тем не менее, чтобы всегда быть полностью уверенным в правильности работы и эффективности электропотребления дата-центра, потребуются средства глобального мониторинга и построения графиков по статистическим данным. Можно легко определить проблемные места (места локального повышения температур) и оперативно предпринять меры по их ликвидации. Разброс температур внутри вычислительного центра можно оптимизировать за счет регулирования расхода воздуха и четкого

контроля распределения температур, одновременно решив проблему как слишком низких, так и потенциально опасных высоких температур в дата-центре.

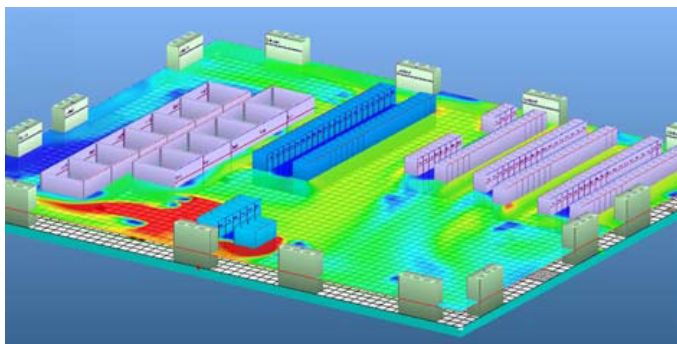


Рис. 5.2 Распределение температур в дата-центре и проблемные участки (источник: IBM)

5.5 Оптимизация аппаратного и программного обеспечения

Оптимизация аппаратного и программного обеспечения играет важную роль в вопросе снижения электропотребления дата-центров. Каждый сэкономленный ватт электроэнергии означает снижение потребности охлаждения, которое потребовалось бы для этого ватта, и снижение потребности резервирования питания источником бесперебойного питания для этого ватта. Это дает двойную экономию.

5.6 Серверы

Как показано на рисунке 5.1, на долю серверов для обработки большого объема информации приходится 2/3 электропотребления всего оборудования. Следовательно, в этих серверах скрывается огромный потенциал экономии электропотребления. В настоящее время многие такие серверы работают с очень низкой нагрузкой: средний уровень их использования зачастую порядка 10%, тогда как работа на низкой нагрузке подразумевает снижение электропотребления. Даже когда серверы не обрабатывают какие-либо запросы, они расходуют порядка 70% электроэнергии от расходуемой при максимальной нагрузке (100%).

На следующем рисунке показано типовое распределение электропотребления отдельных компонентов сервера.

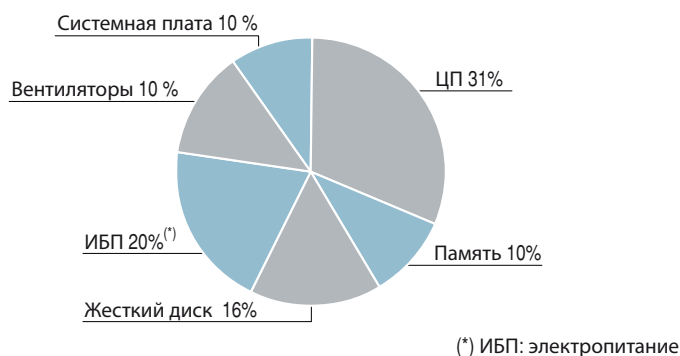


Рис. 5.3 Типовой график распределения электропотребления сервера

Существует два способа сокращения электропотребления серверов:

1. выбор аппаратного обеспечения наиболее рациональной конфигурации: рациональный подход к выбору аппаратного и программного обеспечения, включая размеры оборудования, дает снижение электропотребления;
2. консолидация и виртуализация (см. ниже) могут еще больше снизить электропотребление и износ компонентов.

Например, 2,5-дюймовый жесткий диск потребляет меньше электроэнергии чем 3,5-дюймовый. Кроме этого, жесткие диски с меньшей скоростью вращения потребляют меньше электроэнергии, чем диски с более высокой скоростью вращения.

Лучше установить один большой модуль памяти, чем два маленьких модуля сопоставимого итогового объема памяти. В продаже уже имеются энергосберегающие процессоры, вентиляторы и источники бесперебойного питания.

Расход воздуха в сервере является еще одной областью, где существует потенциальная возможность сэкономить на электропотреблении: конструкция серверов должна быть такой, чтобы воздух проходил через всю фронтальную поверхность и обеспечивал эффективное охлаждение. Увеличение поверхности забора воздуха для каждого процессора означает, что вентиляторы смогут работать при более высокой температуре приточного воздуха и тратить меньше энергии на охлаждение.

В частности, вентиляция и электропитание компактных блейд-серверов должно быть продумано так, чтобы сэкономить свободное пространство в наиболее важных местах. Недопустимое уменьшение размеров корпусов процессоров и модулей оперативной памяти может привести к увеличению плотности потока тепла, что в свою очередь приведет к образованию точек локального перегрева и увеличению электропотребления, которое потребуется для перемещения объема воздуха через сечения меньшего размера.

Значительное количество электроэнергии можно сэкономить только за счет рационального подхода к аппаратному обеспечению: консолидация и виртуализация являются основными способами, разработанными для этого.

Консолидация – это процесс обеспечения согласованности и слияния систем, прикладных программ, баз данных и стратегий. Цель консолидации заключается в том, чтобы упростить инфраструктуру и сделать ее более гибкой. Этот процесс позволяет добиться значительного сокращения электропотребления.

Виртуализация означает абстрагирование: логические системы абстрагируются от физического оборудования. В этом случае ресурсы выделены, но используются совместно, что обеспечивает большую гибкость с точки зрения отказоустойчивости и позволяет добиться большей производительности. Данным способом можно существенно увеличить загруженность системы, что также означает экономию электроэнергии.

На рисунке ниже приведен пример виртуализации и консолидации сервера. Данным способом можно добиться существенного сокращения электропотребления; так, на примере экономия составила 50%. При этом производительность и отказоустойчивость системы сохраняются на прежнем уровне, а слияние четырех систем дает одну высокоэффективную систему благодаря профессиональной визуализации.



Рис. 5.4 Экономия электропотребления за счет консолидации и визуализации

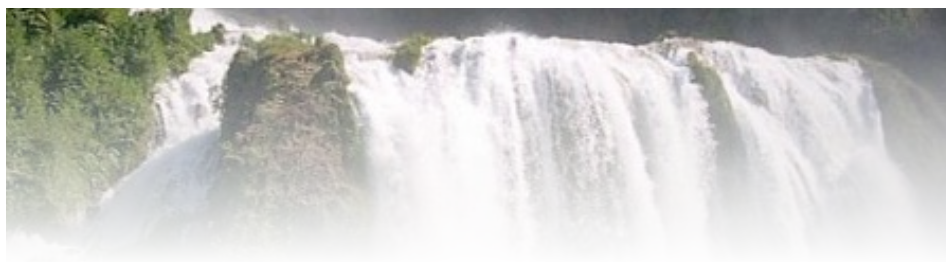
Кроме этого, можно также экономить электроэнергию за счет:

- выключения серверов, если вычислительная нагрузка слишком низкая, главным образом за счет виртуализации;
- управления временем работы серверов во избежание пиковых моментов электропотребления.

5.7 Решения в области хранения данных

Если рассматривать вопрос экономии электропотребления в данном контексте, то кроме очевидного решения в виде удаления устаревших или ненужных данных существует и другой способ, известный как управление жизненным циклом (Information Lifecycle Management, ILM). Технология ILM представляет собой концепцию хранения данных, основанную на эффективном управлении данными на всем протяжении их жизненного цикла. Это процесс оптимизации, который при помощи некоторого набора правил, составленных по принципам компании и иерархической оценке стоимости инфраструктуры хранения данных, находит наиболее подходящее место для хранения данных. На дорогостоящих быстрых жестких дисках хранятся только те данные, которые наиболее востребованы. Технология ILM позволяет сократить электропотребление, так как всегда выбирает оптимальный, а значит наиболее эффективный способ хранения данных, автоматически удаляя устаревшие данные.

Другой энергосберегающий способ хранения данных заключается в применении ленточных носителей (кассет). Кассетам, в отличие от жестких дисков, не требуется электропитание в тот момент, когда данные просто хранятся. Есть и другие современные технологии, призванные сократить электропотребление. Например, технология предотвращения дуближа данных или автоматического выключения дисководов жестких дисков, когда они не нужны.



Оптимизация систем охлаждения дата-центров

Охлаждение играет важную роль при проектировании, строительстве и эксплуатации дата-центров. В определенной степени это объясняется тем, что системы охлаждения потребляют достаточно много электроэнергии. В зависимости от условий среды и конструкции системы охлаждения, обычно на долю систем охлаждения приходится порядка 20% от общих затрат на электроэнергию. Однако стоит отметить, что эту цифру стоит понимать как минимальную. Кроме этого, встречаются ситуации, где на долю систем охлаждения приходится более 60% общих затрат на электроэнергию. Проектирование системы охлаждения, которая будет эффективно потреблять электроэнергию, стоит расценивать как среднесрочное/долгосрочное вложение в дата-центр, которого хватит на несколько поколений компьютерной инфраструктуры центра. Ниже рассмотрены различные способы оптимизации электропотребления систем охлаждения дата-центров.

6.1 Расход воздуха: участки высокой и низкой температуры

Как правило воздух в дата-центрах используется для охлаждения серверных шкафов и компьютерных залов.

Чаще всего воздушное охлаждение дата-центров планируется так, чтобы горячие проходы чередовались с холодными. Холодный воздух проходит под фальшполами

и подается в помещение через вентиляционные решетки в полу. Горячий воздух забирается через решетки и уходит в воздуховоды, размещенные в потолке. В более современных серверах забор холодного воздуха происходит с передней стороны, а горячий воздух отводится сзади. Поэтому рациональнее размещать серверные шкафы так, чтобы передние и задние дверцы образовывали горячие и холодные проходы.

В этом случае серверные шкафы размещаются передними сторонами друг к другу по требованиям стандарта VDI 2054 или технического комитета ASHRAE 9.9. При таком расположении холодный воздух подается в холодный проход, откуда он забирается серверными шкафами, расположенными по обе стороны этого прохода, тогда как горячий воздух отводится с задней стороны шкафов, где находится горячий проход.

Чем выше температура отводимого воздуха, тем больше экономия электропотребления за счет использования водяного атомайзера или режима естественного охлаждения (подробнее см. главу, посвященную естественному охлаждению).

Исследования, проведенные Швейцарским федеральным департаментом электроэнергетики, показали, что каждый градус разницы температур (от 22 до 26 °C) сокращает электропотребление на 4%.

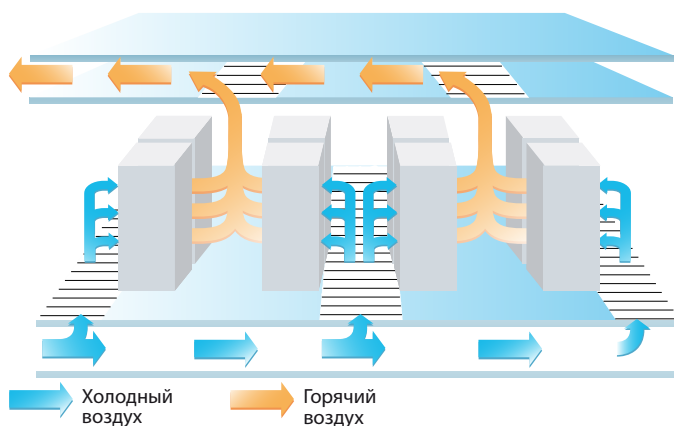


Рис. 6.1 Схема горячих и холодных проходов

Разница температур на притоке и вытяжке ограничивается максимальной температурой отводимого воздуха, приемлемой для компонентов, которые входят в состав компьютеров. Чтобы удовлетворить растущие потребности в охлаждении, температура приточного воздуха сильно снижается, а объем охлаждающего воздуха, подаваемого на серверные шкафы кондиционерами (CRAC: системами кондиционирования воздуха в дата-центрах), увеличивается. Это означает высокую подвижность воздуха в помещении.

С одной стороны, данное решение позволяет решить вопрос охлаждения, но имеется

и недостаток: поскольку скорость воздуха высока, происходит нежелательное смешивание холодного воздуха с горячим и рециркулирующим воздухом. Если избежать этого, можно значительно сократить эксплуатационные расходы.

Чтобы уменьшить циркуляцию воздуха внутри помещения, следует закрыть любые сквозные отверстия шкафов (например, пустые слоты).

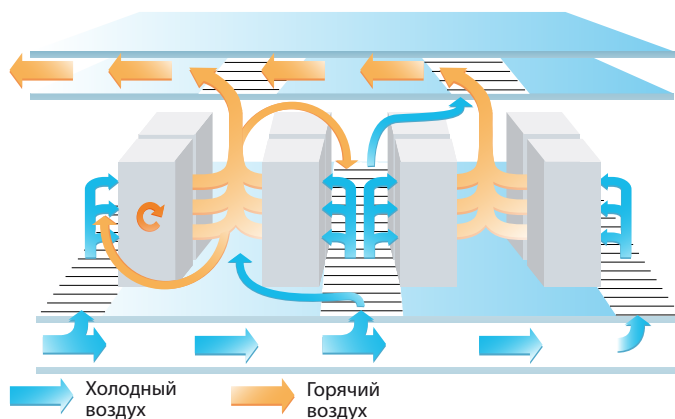


Рис. 6.2 Схема циркуляции и смешивания воздуха

Как правило воздуховоды для охлаждения серверных стоек размещаются под фальшполом. Весь охлаждающий воздух должен проходить по этим воздуховодам, встречая различные преграды в виде электропроводки или труб, по которым течет хладагент. Высота фальшпола может варьировать от 300 мм до 2–3 м, а в некоторых крупных дата-центрах высота фальшполов еще больше.

Напольные вентиляционные решетки должны устанавливаться только в холодных проходах, а кондиционеры должны находиться в конце горячих проходов, но не в одном ряду со стойками.

Снятие секций пола, для того чтобы устранить участок высокой температуры, приведет к нарушению работы всей системы.

Если кондиционеры располагаются параллельно серверным стойкам (см. Рис. 6.4), это приводит к смешиванию горячего и холодного воздуха. В результате охлаждение верхней части серверных стоек получается недостаточным. Кроме этого, более низкая температура отработанного воздуха, поступающего обратно в кондиционеры, снижает эффективность работы всей системы.

Если тщательно спланировать архитектуру горячих и холодных проходов, можно добиться рассеяния тепловых нагрузок каждой серверной стойки *примерно до 5 кВт*. В современных дата-центрах это значение часто еще ниже: примерно 1–2 кВт на каждую стойку. Если планировка тщательно продумана, холодные проходы будут полностью заполнены холодным воздухом, а горячий воздух будет проходить над серверными стойками и возвращаться обратно в кондиционер.

6.2 Ограждение горячих проходов

Можно еще больше развить преимущества, получаемые от деления помещения на горячие и холодные проходы. Например, этого можно добиться за счет ограждения холодных проходов гибкими ограждениями. В этом случае отводимый горячий воздух не будет смешиваться с холодным приточным воздухом. Регулирование температуры всегда осуществляется в зависимости от количества серверов.

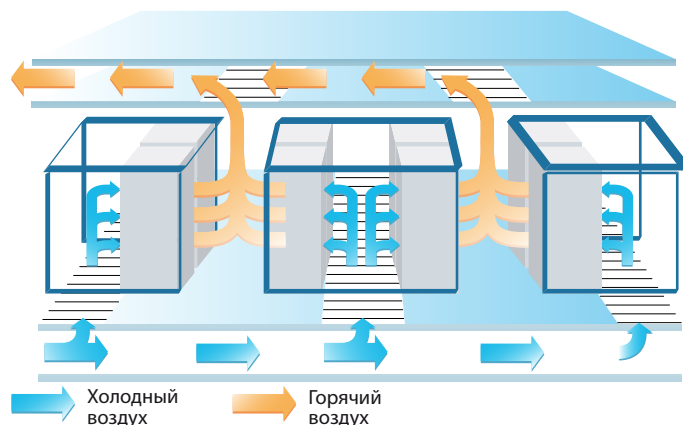


Рис. 6.3 Ограждение холодных проходов

Особое внимание следует уделить тому, чтобы огороженная зона была полностью изолирована.

Это позволит снизить вертикальный перепад температур от поверхности фальшпола до верхней части серверной стойки, примерно с 4 до 1 °К. Таким образом, серверы будут оптимально обдуваться потоком холодного воздуха через всю площадь воздухозаборного участка.

При использовании ограждений холодных и горячих проходов кондиционеры должны располагаться параллельно ряду серверных стоек, чтобы горячий отводимый воздух не смешивался с холодным приточным воздухом.

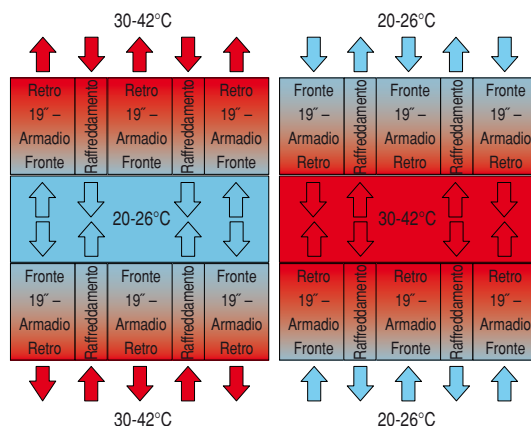


Рис. 6.4 Схема расположения кондиционеров параллельно серверным стойкам с ограждением холодных и горячих проходов

В огражденном холодном проходе, где установленные параллельно серверным стойкам кондиционеры должны охлаждать несколько рядов таких стоек, рекомендуется использовать надежную систему отвода тепла в виде специального плenums под подвесным потолком или системы воздухопроводов. Другим способом повышения энергоэффективности является ограждение горячих проходов. Однако при использовании той или иной схемы вентиляции всегда следует индивидуально подходить к конкретному помещению.

6.3 Уменьшение препятствий под фальш-полом

Как было отмечено выше, фальшполы считаются одним из лучших технических решений как для прокладки кабелей данных и электропитания оборудования дата-центра, так и снабжения приточным воздухом. Фальшполы следует использовать максимально эффективно: они должны устанавливаться на соответствующей высоте, размер напольных воздухопроницаемых плиток и решеток должен быть оптимальным, а места стыка плиток со стенами помещения должны быть герметичными. Для равномерного распределения воздуха через воздухопроницаемые плитки давление воздуха должно быть не менее 25 Па.

6.4 Управление потреблением и производительностью систем кондиционирования

Управление потреблением и производительностью систем кондиционирования

играет важную роль в вопросе оптимизации энергопотребления дата-центров.

Существуют разные системы кондиционирования воздуха, которые способны отводить вырабатываемое электронными устройствами тепло за пределы помещения. Такие системы используют хладагент, и в их состав входят такие компоненты, как контур циркуляции, блоки холодной воды, чиллеры, теплообменники и конденсаторы. В каждом случае все эти системы кондиционирования следует рассматривать отдельно, а затем добиваться слаженной работы всех этих систем.

6.5 Регулирование производительности систем вентиляции

Как и другие современные устройства, высокоточные системы кондиционирования воздуха содержат множество различных компонентов, поэтому при поиске способов сокращения энергопотребления нужно рассматривать каждый компонент системы в отдельности. Например, можно неплохо сэкономить на энергопотреблении, если правильно выбрать вентиляторы, так как они постоянно работают круглый год. Поэтому производители начали активно выпускать вентиляторы с электронно-коммутируемыми бесщеточными двигателями, так называемые ЕС-вентиляторы, которые потребляют значительно меньше электроэнергии на низких скоростях.

Компоненты и системы должны работать максимально эффективно. Этого можно добиться при условии, что все устройства и системы выбраны соответствующего размера и способны работать как в режиме максимальной нагрузки, так и автоматически переключаться на режим неполной нагрузки. Чтобы добиться хорошей эффективности, необходимо регулировать производительность как системы вентиляции, так и системы охлаждения.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) подходит для регулирования производительности в довольно стабильных условиях работы. Однако тепловые нагрузки дата-центров постоянно меняются, и получается, что по ночам и в выходные дни она ниже. Если нагрузка плавающая, система управления должна динамически регулировать работу системы отопления, вентиляции и кондиционирования в зависимости от текущей тепловой нагрузки.

Технология виртуализации серверов открывает мир новых возможностей повышения эффективности энергопотребления. Нагрузки можно быстро перенести на другие физические серверы, а если они работают с минимальной загрузкой, целые серверные шкафы и даже ряды серверных шкафов могут прекратить выполнение программ и отключиться. Инфраструктуру отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха следует оптимизировать за счет выключения отдельных воздушных кондиционеров или перевода в режим минимальной производительности.

Таким образом, тщательно продуманная планировка и конфигурация компьютерного оборудования в дата-центре играет важную роль в решении вопроса эффективности энергопотребления и охлаждения.

Датчики температуры отводимого и приточного воздуха позволяют напрямую регулировать энергопотребление и расход воздуха, охлаждающего серверные стойки. Это позволяет добиться экономии энергопотребления в пределах от 30 до 60%.

Результаты измерения температуры и энергопотребления можно использовать в качестве контрольных переменных для управления расходами на электроэнергию. Однако это возможно только в дата-центрах, где нет дополнительных источников тепла, например защищенных от солнечных лучей. Поэтому предпочтительно, чтобы дата-центры располагались в помещениях, стены которых не являются внешними стенами здания.

6.6 Эффективность систем охлаждения с водой/хладагентом

В системах, использующих в цикле охлаждения воду/хладагент, тепло обычно отводится за пределы здания и рассеивается в наружном воздухе. Температура контура охлаждения, температура наружного воздуха, в котором рассеивается отводимое тепло, и разность температур приточного и рециркуляционного воздуха – это ключевые факторы, определяющие эффективность цикла охлаждения. Самая высокая температура – это температура наружного воздуха, а самая низкая – температура воздуха в контуре охлаждения.

Температура наружного воздуха зависит от географического расположения дата-центра, времени года и времени суток. Если установлены теплообменники, это будет еще один важный фактор, который нельзя сбрасывать со счетов. Прямых солнечных лучей следует избегать всеми силами, так как они снижают эффективность работы системы охлаждения.

6.7 Динамическое регулирование и обслуживание

Чтобы еще больше повысить эффективность энергопотребления, необходимо не только подобрать и правильно установить оптимальные по нагрузке оборудование и системы, но и обеспечить динамическое регулирование этих систем.

Если нормальный режим работы системы рассчитан на максимальную тепловую нагрузку, которая относительно постоянна, то при снижении тепловой нагрузки можно использовать устройства динамического регулирования различных параметров.

Чаше используются следующие стратегии:

1. объем задействованного в цикле воздуха можно уменьшить за счет применения вентиляторов с регулируемой скоростью (примечание: давление воздуха под фальшполом не должно быть ниже 25 Па);

2. температуру воды на выходе надо поддерживать по возможности максимально высокой, чтобы увеличить коэффициент эффективности энергопотребления (COP);
3. динамическое регулирование будет изменять условия отключения естественного охлаждения, чтобы увеличить продолжительность охлаждения без использования компрессора холодильной машины: увеличивается время, когда естественное охлаждение используется вместо механического.

Регулярное техобслуживание – еще один важный фактор, позволяющий повысить эффективность энергопотребления и, помимо всего прочего, обязательный по законодательству. Грязные фильтры зачастую являются основной причиной повышенного энергопотребления, так как увеличивают нагрузку вентиляторов и водяных насосов. Система регулирования может обеспечить правильную работу оборудования только при условии регулярного техобслуживания.

6.8 Влияние параметров микроклимата

Известно, что высокая относительная влажность увеличивает частоту отказов электронных компонентов, в частности токопроводящих анодных электродов и магнитных накопителей. Кроме этого, в условиях повышенной влажности оборудование больше изнашивается и подвержено коррозии. Слишком низкая относительная влажность также создает определенные проблемы, так как электронные устройства чувствительны к электростатическим разрядам, поэтому магнитные и ленточные накопители в условиях пониженной влажности выдают больший процент ошибок.

Высокая температура также отрицательно влияет на надежность и срок службы электронных устройств. Известно, что чем ниже температура в помещении с установленными в нем компьютерами, тем выше энергопотребление системы вентиляции, отопления и кондиционирования. Поэтому существуют рекомендованные минимальные значения, которые в разумной степени следует соблюдать во избежание лишних расходов на электроэнергию. Как правило каждый производитель оборудования проверяет работоспособность собственных изделий в определенных климатических условиях, и эти условия могут не совпадать с указанными в таблицах 6.1 и 6.2. Климатические условия в тестовом режиме (в течение непродолжительного времени) для телекоммуникационного оборудования установлены в стандарте NEBS GR-63-CORE. Там же указаны допустимые условия работы в непрерывном режиме или в течение длительного времени. Для гарантии надежности телекоммуникационного оборудования в критичном режиме новые изделия проходят испытания в климатических условиях, которые могут возникать в некоторых случаях, но тем не менее маловероятны. Поэтому такие условия не считаются «допустимыми» условиями работы. Максимальная высота над уровнем моря для устройств класса 1–4 установлена равной 3050 м (10000 футов). В стандарте Telecom NEBS (GR-63 CORE) указана максимальная высота, равная 4000 м (13100 футов), так как в нем учитываются телефонные станции в гористых местностях.

6.9 Рекомендации сообщества ASHRAE

Как правило общество ASHRAE выпускает рекомендации для отрасли информационных технологий, где очень важно достаточно точно поддерживать определенный микроклимат; в рекомендациях такие помещения определены как замкнутые регулируемые среды и включают, в частности, телефонные станции, серверные залы и дата-центры. «Рекомендации по микроклимату дата-центров», опубликованные сообществом ASHRAE TC 9.9, устанавливают требования по части микроклимата в дата-центрах в зависимости от разных климатических требований в разных областях. В настоящем документе рассмотрены условия микроклимата, которые следует поддерживать в таких помещениях в свете эволюции оборудования

Первая редакция «Рекомендаций по микроклимату дата-центров» была опубликована в 2004 г. До появления этого документа все требования по микроклимату в дата-центрах были основаны на экспериментах или указывались отдельно каждым производителем оборудования. Во второй редакции документа, опубликованного в 2008 г., технический комитет ослабил требования по части микроклимата, для того чтобы дата-центры, расположенные в странах с благоприятным климатом, смогли более эффективно использовать экономайзеры.

В начале XXI в. большое внимание уделяется эффективности компьютерной техники. Эффективность энергопотребления (PUE) стала новой мерой измерения эффективности работы дата-центров в зависимости от типа и эксплуатации. Чтобы повысить коэффициент PUE, сегодня как правило используют экономайзеры, использующие воду и воздух и работающие круглый год. Чтобы еще больше повысить коэффициент PUE, были созданы дополнительные классы микроклимата и разработаны рекомендации по использованию как существующих, так и новых классов.

Во второй редакции рекомендаций (2008 г.) приведены рекомендованные параметры микроклимата, при соблюдении которых дата-центры смогут поддерживать высокую надежность оборудования и одновременно оптимизировать энергопотребление на объекте. Указанные параметры микроклимата подходят для различных областей применения оборудования разных типов. Однако для других условий применения эти параметры микроклимата могут оказаться не слишком приемлемыми. Поэтому редакция 2011 г. дополнена новыми параметрами микроклимата, позволяющими добиться еще большей экономии энергопотребления. Любые отклонения от рекомендованного диапазона считаются определенным компромиссом между дополнительной экономией энергопотребления и возможным снижением надежности, шума и показателей работы оборудования.

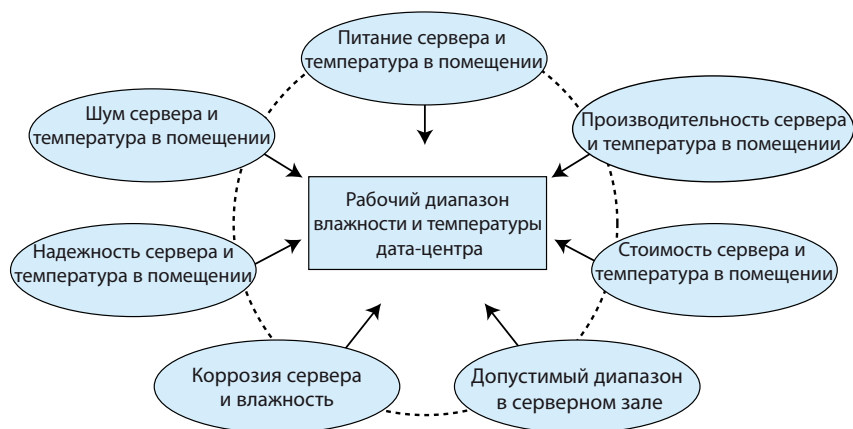


Рис. 6.5 Метрика определения параметров микроклимата дата-центра

6.10 Определение классов параметров микроклимата

Согласно классификации параметров микроклимата для IT-оборудования необходимо, чтобы оборудование нормально работало во всем диапазоне допустимых температур и влажности без отказов. Иначе говоря, IT-оборудование совместимо с каким-либо из нижеперечисленных микроклиматических классов, если оно способно работать с максимальной производительностью без каких-либо отказов из-за несоответствия параметрам микроклимата.

Класс A1: как правило это стандартный дата-центр (или центр обработки данных, ЦОД) с точно контролируемым микроклиматом (точка росы, температура и относительная влажность) и выполняющий стратегически важные операции с данными; к этому классу относятся корпоративные серверы и устройства хранения данных.

Класса A2: как правило это помещения для работы компьютерного оборудования, офисы и лаборатории с частично контролируемым микроклиматом (точка росы, температура и относительная влажность); к этому классу относятся серверы, предназначенные для обработки больших объемов данных (volume servers), устройства хранения данных, персональные компьютеры и рабочие станции.

Класс A3/A4: как правило это помещения для работы компьютерного оборудования, офисы и лаборатории с частично контролируемым микроклиматом (точка росы, температура и относительная влажность); к этому классу относятся серверы, предназначенные для обработки больших объемов данных (volume servers), устройства хранения данных, персональные компьютеры и рабочие станции.

Класс B: как правило это офисы, дома и передвижные пункты с минимальным

контролем микроклимата (только температура); к этому классу относятся такие изделия, как персональные компьютеры, рабочие станции, ноутбуки и принтеры

Класс С: как правило это магазин розничной торговли, небольшое промышленное предприятие или производство, защищенное от влияния климатических факторов, имеющее достаточное отопление зимой и вентиляцию; к этому классу относится оборудование розничной торговли, контроллеры в защищенном исполнении, компьютеры и КПК.

NEBS (системы сетевого оборудования): как правило это центральный телекоммуникационный офис с частичным контролем микроклимата (точка росы, температура и относительная влажность); к этому классу относятся коммутаторы, транспортное оборудование, маршрутизаторы.

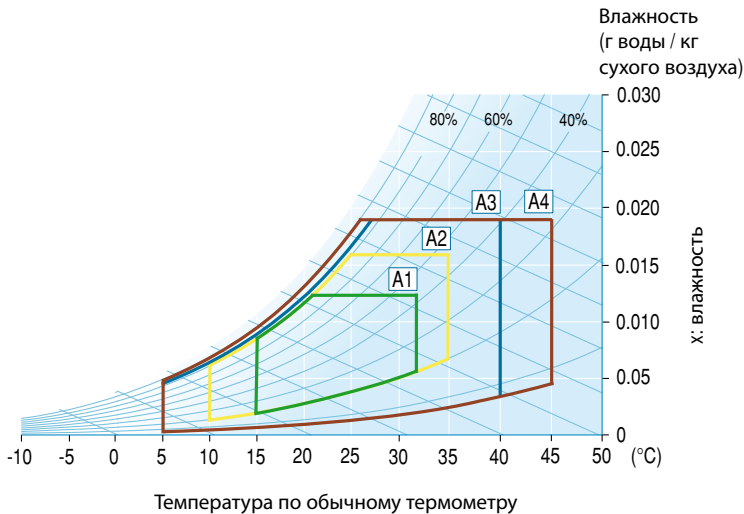
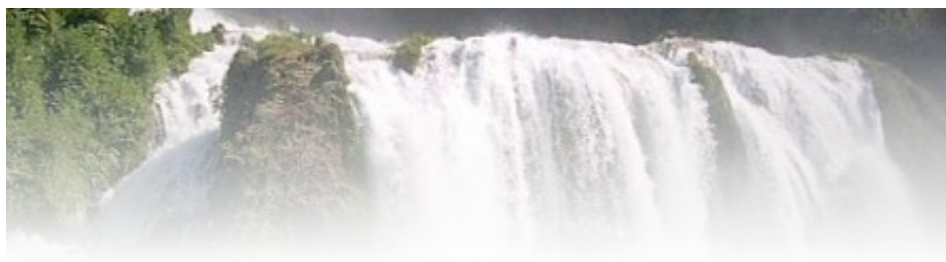


Рис. 6.6 Классы микроклимата центров обработки данных (ASHRAE)

Климатический класс	Устр-во включено				Устр-во выключено		
	Температура по обычному термометру, °C	Относительная влажность, % (без конденсата)	Максимальная точка росы, °C	Максимальная высота на объекте, м	Максимальное изменение микро-та (°C / отн. влаж.)	Температура по обычному термометру, °C (без конденсата)	Максимальная точка росы, °C
Рекомендованный							
(распространяется на все классы А; отдельные вычислительные центры могут увеличить рекомендованный диапазон на основании: «Рекомендаций по микроклимату вычислительных центров 2011 г. – расширенные классы центров обработки данных и рекомендации по эксплуатации»)							
A1 – A4	18 – 27	55 °C DP – 60% отн. влажности и 15 °C DP					
Допустимый							
A1	15 – 32	20% – 80% отн. влажности	17	3050	5/20	5 – 45	8 – 80
A2	10 – 35	20% – 80% отн. влажности	21	3050	5/20	5 – 45	8 – 80
A3	5 – 40	-12 °C DP & 8% отн. влажности – 85% отн. влажности	24	3050	5/20	5 – 45	8 – 85
A4	5 – 45	-12 °C DP & 8% отн. влажности – 90% отн. влажности	24	3050	5/20	5 – 45	8 – 90
B	5 – 35	8% отн. влажности – 80% отн. влажности	28	3050	Нет	5 – 45	8 – 80
C	5 – 40	8% отн. влажности – 80% отн. влажности	28	3050	Нет	5 – 45	8 – 80

Прим.: DP = точка росы

Таблица 6.1 Параметры микроклимата для IT-оборудования



Естественное охлаждение: методика повышения энергоэффективности дата-центров

Технология естественного охлаждения прекрасно подходит для кондиционирования дата-центров, которые находятся в странах с холодным и умеренным климатом. Системы, использующие технологию естественного охлаждения, выпускаются уже более 30 лет. Доступные на сегодняшний день системы стали более современными и используют последние технические достижения (микропроцессорное управление, компоненты с регулируемой скоростью и др.), поэтому предусматривают потенциальную возможность экономии энергопотребления. Существует два типа естественного охлаждения – прямое и косвенное.

7.1 Прямое естественное охлаждение

Кондиционеры не только выполняют свою основную задачу, а именно охлаждают воздух, но и комплектуются заслонками. Системы, управляющие заслонками, впускают свежий уличный воздух, а воздух из помещения либо выводится наружу, либо охлаждается и снова пускается в кондиционируемое помещение (т. е. циркулирует). При выборе кондиционера следует руководствоваться температурой и влажностью наружного воздуха и микроклиматом, который желательно поддерживать в помещении. Существуют следующие варианты:

1. только естественное охлаждение;
2. естественное охлаждение с дополнительным механическим охлаждением (комбинированный режим);
3. циркуляция: только механическое охлаждение.

В процессе прямого естественного охлаждения холодный наружный воздух подается в кондиционируемое помещение.

Теплый воздух в свою очередь уносится из помещения наружу. Циркуляцию воздуха обеспечивает вентилятор, при этом воздух проходит через фильтр наружного воздуха. Такой режим работы позволяет добиться значительной экономии энергопотребления, особенно в странах с холодным и умеренным климатом. Если температура на улице повышается, кондиционер переходит в комбинированный режим, и дополнительное тепло отводится холодильной машиной.

Регулирование микроклимата должно быть достаточно точным, чтобы экономия, достигнутая за счет оптимального естественного охлаждения, не пропала из-за необходимости увлажнения приточного воздуха в странах с сухим климатом.

7.2 Климат

В зависимости от географических климатических условий может возникнуть необходимость в датчиках влажности, которые будут прекращать естественное охлаждение, если воздух очень сухой и нагрузка на увлажнение сильно возрастает.

В странах с сухим климатом можно добиться значительной экономии электроэнергии за счет применения испарительного охлаждения или водяных экономайзеров. Экономайзеры, использующие испарительные колонны или сухие охладители, могут ощутимо охлаждать воду. Это означает, что компрессор холодильной машины может работать не на полную мощность, а если уставка по температуре в помещении относительно высокая, он может отключиться совсем. Водяные экономайзеры иногда называют «косвенными» экономайзерами, так как теплообмен сначала происходит с водой, а затем с воздухом в помещении, а не напрямую с воздухом в помещении.

Поскольку экономайзеры прямого типа, устанавливаемые внутри кондиционеров, стоят относительно дешевле, они лучше всего подходят для небольших дата-центров, а установка систем с водяным охлаждением экономически более оправдана для крупных дата-центров.

Дата-центры, которые находятся в странах с умеренным климатом и не имеют средств контроля влажности внутри помещения, можно оборудовать стандартными контроллерами, которые используют только показания температуры по обычному термометру. В большинстве же центров, где существует необходимость поддержания влажности микроклимата на некотором уровне, используются дополнительные контроллеры, которые выключают экономайзеры в зависимости

от влажности наружного воздуха. Выключение экономайзеров осуществляется по заданной величине абсолютной, а не относительной влажности. Вместо этого можно измерять относительную влажность внутри помещений, для того чтобы регулировать естественное охлаждение.

Быстрые изменения влажности наружного воздуха обычно представляют серьезную проблему только для стратегически важных объектов, где заслонку наружного воздуха нельзя закрыть, чтобы полностью перейти на использование рециркуляционного воздуха. В частности, это стерильные помещения, где требуется большое количество рециркуляционного воздуха.

Экономайзер можно активно использовать зимой, если влажность воздуха достаточно низкая. В этом случае тепловая энергия рециркуляционного воздуха утилизируется на увлажнение при помощи адиабатического увлажнителя.

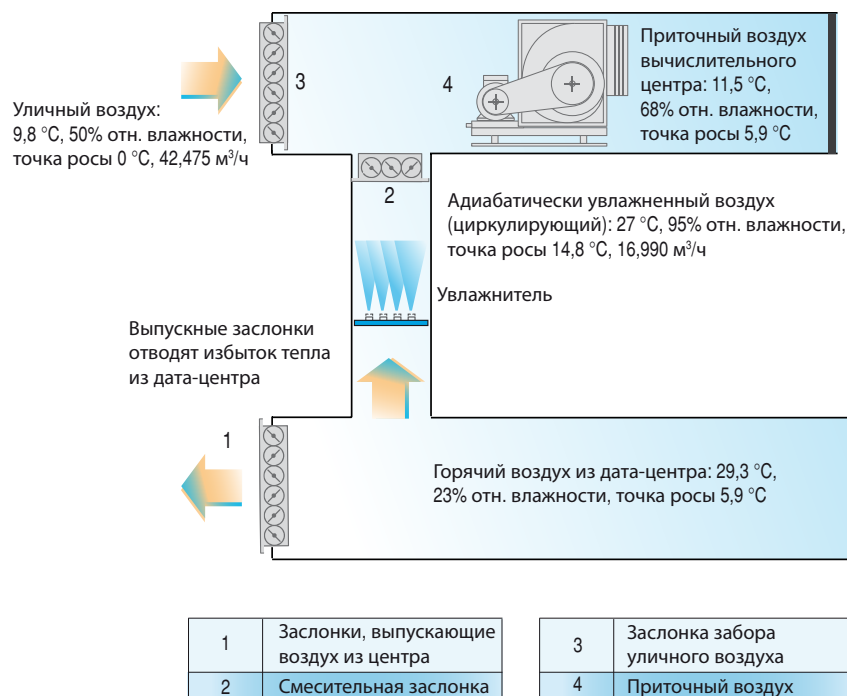


Рис. 7.1 Адиабатическое увлажнение в странах с холодным климатом

Если температура на улице достаточно низкая, используется комбинированный режим, в котором механическое охлаждение задействовано периодически в течение непродолжительного времени. Когда температура на улице повышается, механическое охлаждение используется более часто, до тех пор пока кондиционер полностью не закроет заслонку наружного воздуха и не перейдет на использование рециркуляционного воздуха. Если температура на улице высокая, то для отвода

тепла от IT-оборудования посредством потока воздуха используется только механическое охлаждение. Поэтому в данном случае достигается максимальная экономия энергопотребления.

При вводе в эксплуатацию системы с прямым естественным охлаждением следует уделить особое внимание воздушным фильтрам. Большие объемы проходящего через фильтры воздуха сильно сокращают его срок службы, особенно если в воздухе присутствует много пыли. Грязные фильтры снижают эффективность системы кондиционирования и влекут за собой увеличение эксплуатационных расходов. Кроме этого, отдельного внимания заслуживает качество воздуха местности, где находится дата-центр. Если в воздухе присутствуют загрязняющие примеси, это может привести к порче оборудования.

Управление встроенными экономайзерами осуществляется по температуре рециркуляционного воздуха, а наружный воздух используется тогда, когда температура на улице достаточно низкая. Механическое охлаждение при помощи компрессора дает дополнительную холодопроизводительность, необходимую для достижения такой температуры приточного воздуха, когда он сможет рассеивать тепловую нагрузку. Экономайзеры позволяют добиться максимальной экономии энергопотребления, только когда помещение дата-центра спланировано по принципу горячих и холодных проходов.

7.3 Централизованное кондиционирование воздуха

Централизованные системы имеют целый ряд преимуществ по сравнению с децентрализованными системами, когда кондиционеры размещают непосредственно внутри дата-центра. Среди преимуществ централизованных систем стоит отметить:

- более крупные, а значит более эффективные двигатели вентиляторов, управляемые частотно-регулируемыми приводами;
- меньший перепад давлений, так как воздуховоды имеют больший размер – важный момент с точки зрения повышения энергоэффективности;
- более крупные двигатели, которые требуют техобслуживания реже, чем более компактные двигатели;
- меньше труб для слива конденсата, увлажнения, подачи холодной воды и хладагента;
- обслуживающему персоналу необязательно выезжать в дата-центр;
- строительство дата-центра становится проще;
- более крупные воздухоохладители предусматривают более высокую температуру холодильной машины, а значит являются более эффективными.

Если требуется осушение воздуха, с этим лучше справляется централизованная система, а явное охлаждение, учитывающее большую часть нагрузки, обеспечивается чилером средней температуры (от 9 до 15 °C).

Ниже показан график распределения энергопотребления в двух дата-центрах, 7-4

расположенных в соседних зданиях. Оба центра примерно одинакового размера и имеют оборудование одного типа. В дата-центре слева используется система типа CRAC, в центре справа централизованная система кондиционирования воздуха. Учитывая, что в идеале в дата-центре 100% энергопотребления должно приходиться на компьютеры, дата-центр слева тратит 54% электроэнергии на охлаждение, а центр справа всего 23%.

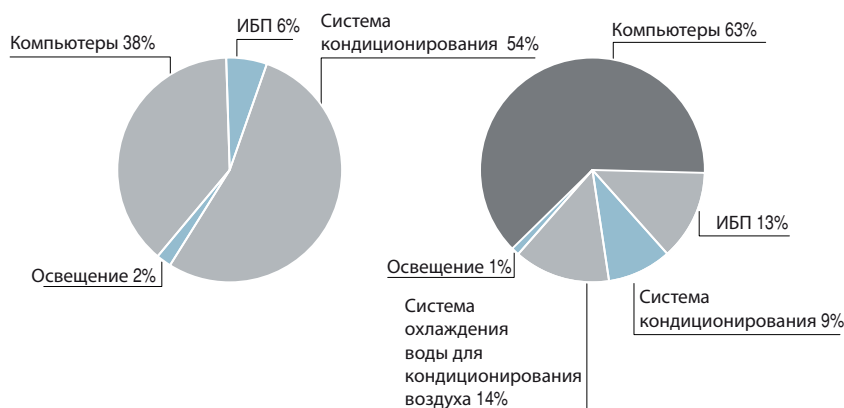


Рис. 7.2 Распределение энергопотребления в двух дата-центрах

7.4 Прямое жидкостное охлаждение

Прямое жидкостное охлаждение подразумевает ряд систем охлаждения, которые некоторым образом передают тепло жидкости, протекающей в непосредственной близости от источника тепловыделений, не рассеивая его в помещении, и таким образом охлаждают воздух.

Если сравнить объемы, то вода может переносить в 3500 раз больше тепла, чем воздух.

Если забирать тепло непосредственно у серверных стоек, это даст больше возможности для использования естественного охлаждения водяными экономайзерами, сократив энергопотребление во время работы до 70%.

Передавать водяному контуру тепло горячего воздуха небольшого объема, выходящего из оборудования, гораздо эффективнее, чем смешивать этот горячий воздух с большим объемом окружающего воздуха, а затем забирать его оттуда. Серверный шкаф с водяным охлаждением по эффективности сопоставим с

правильной планировкой горячих и холодных походов без тепла от рециркуляции.

Прямое водяное охлаждение обеспечивает самую высокую эффективность охлаждения и полностью устраняет необходимость применения рециркуляции воздуха.

Если учесть, что мощность микросхем постоянно растет и тепловые нагрузки увеличиваются, система прямого жидкостного охлаждения представляется единственным вариантом охлаждения серверным шкафов с высокой плотностью тепловыделения (измеряется в Вт/м²).

Если стандартная система кондиционирования воздуха дата-центра может охладить порядка 5 кВт на каждый серверный шкаф или несколько больше при условии тщательного регулирования, то система водяного охлаждения в состоянии обеспечить охлаждение нагрузки мощностью до 20 кВт на каждый серверный шкаф. Преимущества системы водяного охлаждения:

- может охлаждать большее количество серверных шкафов, стоящих плотнее друг к другу, и обеспечивает сокращение эксплуатационных расходов и повышение производительности обработки данных;
- обеспечивает лучшее распределение холодного воздуха в помещении дата-центра, продлевая срок службы оборудования. Кроме этого, стоимость обслуживания серверных шкафов со встроенным водяным охлаждением зачастую ниже стоимости обслуживания стандартных систем кондиционирования воздуха при сопоставимых нагрузках.

7.5 Косвенное естественное охлаждение (вода)

В отличие от прямого естественного охлаждения косвенное естественное охлаждение не использует наружный воздух для непосредственного охлаждения оборудования, стоящего в дата-центрах. Все системы косвенного естественного охлаждения работают по принципу, согласно которому в режиме охлаждения раствор воды и гликоля охлаждается наружным воздухом без применения механического охлаждения, который в свою очередь используется для охлаждения воздуха, который подается в дата-центр. Раствор воды и гликоля выступает в качестве жидкого хладагента и перегоняется по трубам насосами.

Косвенное естественное охлаждение позволяет сократить затраты дата-центров на электричество, потребляемое для кондиционирования воздуха. Несмотря на то что дополнительные компоненты, необходимые для реализации косвенного естественного охлаждения, подразумевают больший объем инвестиций в системе кондиционирования воздуха, эти дополнительные затраты в скором времени покрываются меньшими эксплуатационными расходами.

Наибольшую экономию системы косвенного естественного охлаждения дают в странах с холодным и умеренным климатом. Низкая температура на улице

позволяет реже использовать холодильную машину, что в свою очередь снижает энергопотребление системы кондиционирования воздуха.

Еще больше увеличить экономию, которую предлагает испарительное охлаждение, можно за счет насыщения воздуха на входе в сухие охладители.

7.6 Косвенное естественное охлаждение (воздух)

Последние годы становится популярным использовать в качестве системы охлаждения дата-центров теплообменники с перекрестным потоком в сочетании с испарительным охлаждением. Рециркуляционный воздух, который течет в противоположном направлении, охлаждается, что дает следующие преимущества:

- нет контакта с наружным воздухом, и нет необходимости ставить фильтры для фильтрации пыли и грязи, которая может навредить серверам;
- нагрузка охлаждения снижается;
- скрытая тепловая нагрузка не увеличивается, поэтому изменения влажности наружного воздуха не имеют значения

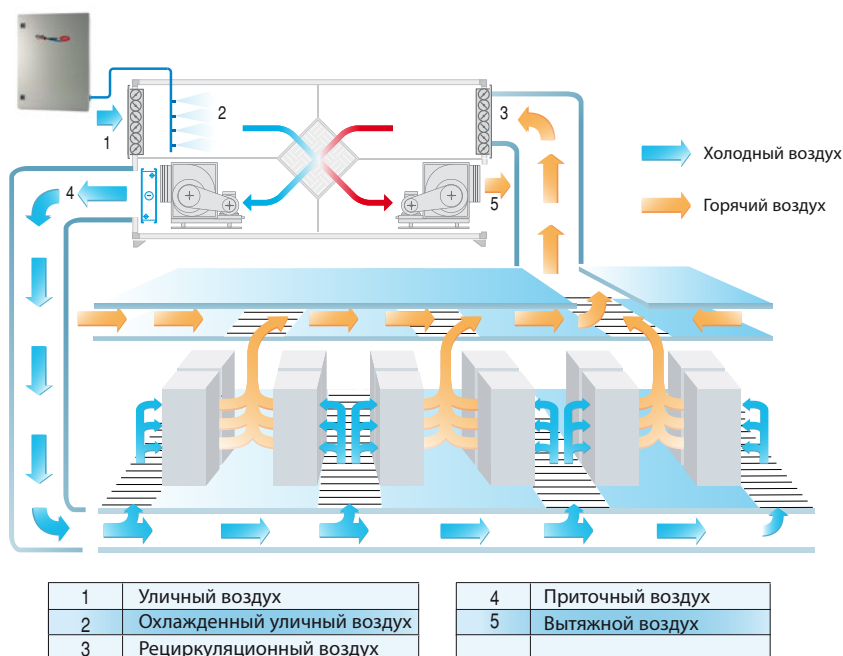


Рис. 7.3 Косвенное естественное охлаждение в дата-центре

7.7 Регулирование влажности

Зачастую влажность микроклимата в дата-центрах поддерживается слишком точно, что не дает ощутимых преимуществ с точки зрения работы оборудования, зато увеличивает энергопотребление, так как в процессе увлажнения потребляется достаточно много энергии. Часто контроллеры влажности не работают централизованно, поэтому соседние кондиционеры, обслуживающие одно и то же помещение, могут работать в разных режимах – один будет увлажнять, а другой осушать воздух. Если датчики влажности проходят калибровку лишь время от времени, дрейф показаний также может стать причиной возникновения проблем с регулированием влажности. Вместо паровых увлажнителей, потребляющих много электроэнергии, можно использовать более дешевые варианты увлажнения воздуха, а именно адиабатические увлажнители, испаряющих воду за счет тепловой энергии горячего воздуха, идущего от работающих компьютеров. Несмотря на тот факт, что сам по себе процесс увлажнения достаточно энергозатратен, осушение воздуха обойдется еще дороже, так как зачастую воздух охлаждается до температуры 7 °C, чтобы содержащаяся в воздухе влага превратилась в конденсат, а затем снова нагревается электронагревателем, чтобы приточный воздух не был слишком холодным. Для нормальной работы современных серверов высокоточное поддержание влажности микроклимата не требуется, а стандартная используемая в дата-центре система кондиционирования воздуха не в состоянии гарантировать точный контроль влажности (из-за дрейфа показаний датчика). Централизованный контроллер влажности сможет обеспечить работу всех кондиционеров в пределах одного помещения в одинаковом режиме и решит вышеописанные проблемы, связанные с использованием независимых контроллеров и кондиционеров типа CRAC.

Если наружный воздух достаточно холодный, можно продолжать использовать адиабатические увлажнители, используя тепло горячего рециркуляционного воздуха.

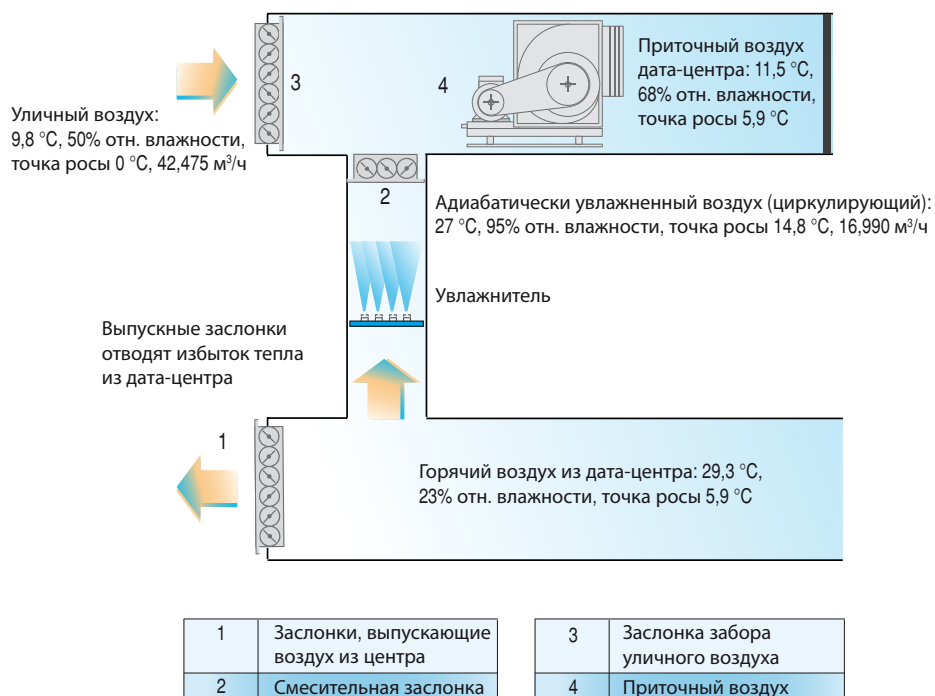
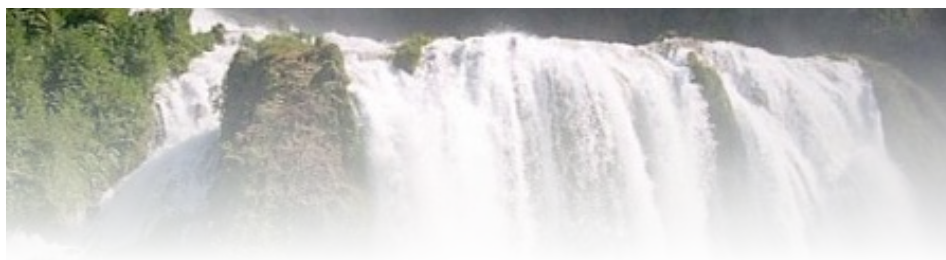


Рис. 7.4 Адиабатическое увлажнение в странах с холодным климатом

Компьютеры не повышают влажность и не требуют свежего воздуха, поэтому для правильно спроектированного дата-центра нет необходимости устанавливать требования по минимальной влажности микроклимата. Помещение должно быть герметичным и предусматривать хорошее регулирование давления, чтобы свести к минимуму проникновение влаги или сухого наружного воздуха. Современные дата-центры не используют устаревшие перфокарты и редко нуждаются в точном поддержании влажности микроклимата в рекомендованном ASHRAE диапазоне относительной влажности от 40 до 55%.

Чтобы добиться экономии энергопотребления, алгоритмы регулирования влажности должны предусматривать колебание влажности в пределах от минимальной уставки в очень холодные или сухие дни до максимальной уставки в жаркие или влажные дни.



Охлаждение газовых турбин

Экономика развивающихся стран постепенно улучшается, поэтому наряду с улучшением условий жизни в странах с высокой плотностью населения, в частности Индии и Китае, растет спрос на электроэнергию. Большая часть дополнительной электроэнергии вырабатывается газовыми турбинами. Производительность газовой турбины напрямую зависит от температуры окружающего воздуха и скорости ее изменения в пределах от $0,5\%/^{\circ}\text{C}$ до $1\%/^{\circ}\text{C}$. По сравнению с такими нормальными условиями, установленными в стандарте ISO (ISO 3977-2, “Установки газотурбинные: нормальные условия и номинальные показатели”), как температура 15°C , давление 1,013 бар и относительная влажность 60%, при повышении температуры окружающей среды до 30°C , производительность большинства используемых турбин, как сообщается в литературе, падает на 7,5–10%. Эта особенность характерна для газовых турбин, поэтому энергетические компании испытывают определенные трудности в летнее время, когда потребность в электроэнергии возрастает. Можно постараться решить эту проблему, увеличив размеры газовой турбины в пределах допустимых норм, но это потребует больших инвестиций. Однако существует и другой способ, который заключается в охлаждении воздуха перед входом в компрессор газовой турбины. За счет этого одновременно увеличивается и плотность воздуха, и массовая скорость расхода воздуха, поступающего в камеру сгорания. Следовательно, производительность газовой турбины увеличивается.

Воздух, идущий в компрессор газовой турбины, можно охлаждать разными способами, например при помощи сотовых увлажнителей или распылительных увлажнителей высокого давления.

Ниже приведена схема простейшей газовой турбины. Наружный воздух, имеющий низкое давление и температуру, попадает в компрессор и выходит из него под большим давлением и температурой; далее он попадает в камеру сгорания, где в процессе горения температура газа увеличивается, а давление остается неизменным. Газ, имеющий высокую температуру и давление, попадает в турбину, где расширяется и отдается часть своей энергии на механическую работу, которая используется для работы компрессора, дополнительных компонентов и преодоления пассивного сопротивления, а также непосредственную механическую работу, для которой предназначена турбина.

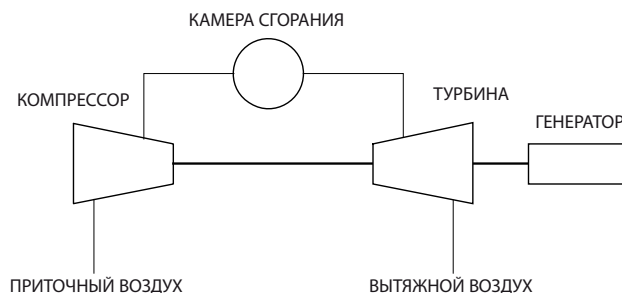


Рис. 8.1 Схема газовой турбины

8.1 Важность климатических данных

В состав системы управления испарительным охлаждением входит свободно программируемый контроллер и датчики, измеряющие температуру и влажность окружающей среды. Алгоритмы управления, заложенные в контроллер, используют показания измерений для вычисления температуры по влажному термометру и разницы температур по сухому и влажному термометру. Руководствуясь вычисленными данными, контроллеры регулируют работу системы испарительного охлаждения, которая в известной степени зависит от параметров окружающей среды. Время, в течение которого работает система охлаждения, напрямую зависит от параметров окружающей среды, поэтому важнейшее значение приобретает правильный анализ изменений микроклимата в месте эксплуатации турбины.

Раньше испарительные охладители устанавливались на газовые турбины достаточно редко, однако в последние годы ситуация меняется, и все больше установок оснащается охладителями. Это объясняется тем, что проектировщики не располагали всей информацией о требовании возможности повышения производительности турбин и не могли правильно интерпретировать климатические данные.

Чтобы добиться максимально точных результатов анализа климатических данных, необходимо сравнивать температурный профиль за полный год с 60-минутным

разрешением со средними значениями температуры по сухому и влажному термометрам, полученными за последние 20–30 лет. Эти данные можно взять из таблиц, составленных сообществом ASHRAE. Ниже показан типовой график изменений температуры по сухому и влажному термометрам. Обратите внимание, что области высокой относительной влажности не совпадают с областями высокой температуры по сухому термометру. В дневное время наблюдается существенная разница в показаниях температуры сухого и влажного термометров. Именно из-за этой разницы можно использовать испарительное охлаждение.

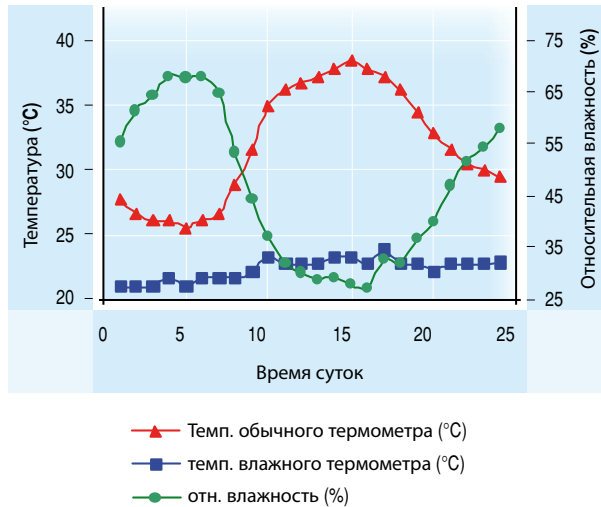


Рис. 8.2 График суточного изменения температуры по сухому и влажному термометру и относительной влажности

На основании этих данных можно получить так называемую величину ECDH (градус-часы испарительного охлаждения). Например, если в течение одних 8 часов осуществляется охлаждение на 10 °C, а в течение других – на 15 °C, значит показатель ECDH составит 200 (часов × °C)*. Итоговый показатель ECDH вычисляется путем сложения значений ECDH за каждый день в течение всего месяца и за все месяцы в течение всего года. Расчетные таблицы содержат показатели ECDH, соответствующие охлаждению на 0 - 5 °C, 5 - 10 °C, 10 - 15 °C и >20 °C, где минимальная температура по влажному термометру соответствует минимальному значению, при котором не образуется лед.

Если умножить показатель ECDH на получаемое за счет охлаждения повышение производительности турбины в кВт/°C, как указано в технической спецификации производителя, получим количество киловатт-часов за счет испарительного охлаждения. Полученную величину можно использовать для составления прогнозов эффективности газовой турбины и экономической оценки на основании изменений на рынке энергетики в разные времена года.

(*) $10 \times 8 + 15 \times 8 = 200$

ECDH	МВт/ч	Затраты на установку системы охлаждения (\$)	Дополнительный доход в год (\$)	Окупаемость (годы)
2500	1000	85000	40000	2,1
5000	2000	120000	80000	1,5
10000	4000	125000	160000	0,8
20000	8000	160000	320000	0,5
23000	9200	165000	368000	0,45
40000	16000	180000	640000	0,3

Таблица 8.1 Окупаемость системы охлаждения (источник: Электроэнергетика)

8.3 Эксплуатационные расходы

Почти 90% всех эксплуатационных расходов системы приходится на деминерализованную воду. Разумеется, используемый воздух, выходящий из атомайзера высокого давления, не должен содержать примесей, так как они будут загрязнять компрессор и станут причиной высокотемпературной коррозии. Если стоимость воды составляет 1 доллар за кубический метр, нельзя забывать, что процесс деминерализации требует увеличения количества воды вдвое. При использовании сотовых увлажнителей падение давления приточного воздуха составит 100 Па, а значит возникнут дополнительные расходы на энергию.

8.4 Проектирование системы охлаждения

Насосный агрегат высокого давления подает деминерализованную воду по трубкам из нержавеющей стали на распылительные форсунки, которые каждую секунду распыляют миллионы крошечных капелек воды перед входом в компрессор турбины. С учетом большой площади соприкосновения воздуха с водой и крошечного размера капель воды, они моментально испаряются и охлаждают приточный воздух, повышая его плотность и, соответственно, увеличивая производительность турбины.

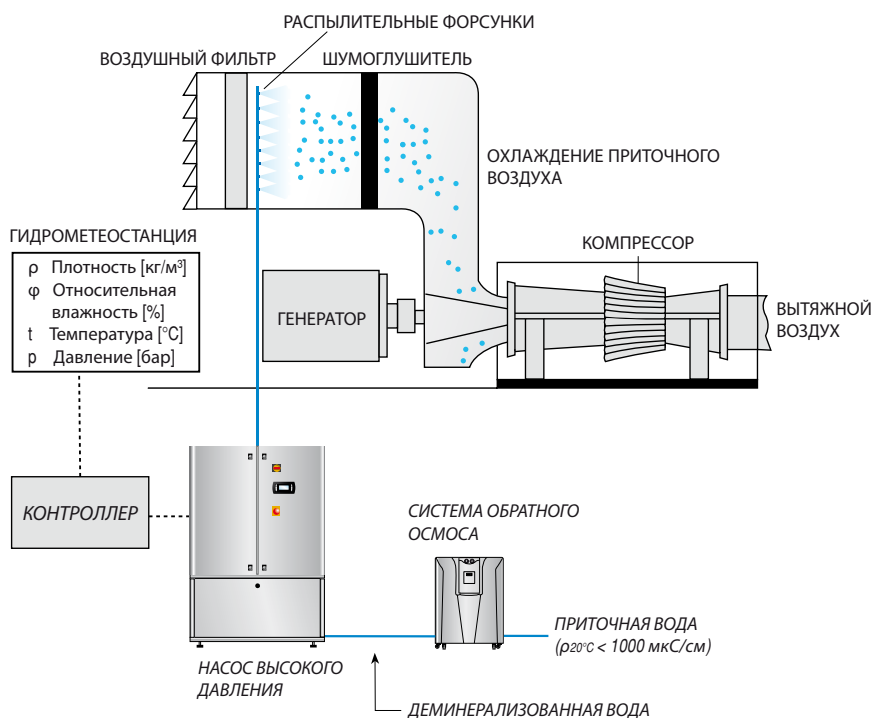


Рис. 8.4 Схема системы испарительного охлаждения турбины

В результате получаем значительные преимущества:

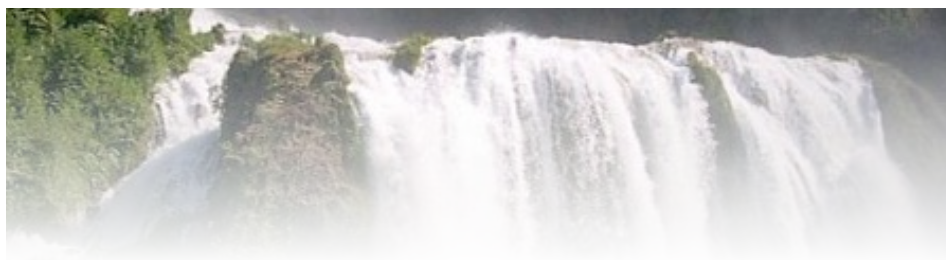
- увеличение производительности турбины до 20%;
- снижение удельного энергопотребления, т. е. количества топлива, используемого для выработки единицы энергии;
- сокращение выбросов NOx до 30%;
- низкие затраты на оборудование, монтаж и эксплуатацию по сравнению с другими системами охлаждения;
- температура очень близка к температуре по влажному термометру;
- эффективность испарения практически 100%;
- простота монтажа системы охлаждения на действующие турбины, время приостановки турбины составит всего 1–2 дня;
- возможность увеличения типоразмера для применения внутреннего охлаждения (*);
- высокая рентабельность и быстрая окупаемость;
- минимальное падение давления на входе: в отличие от распылительных увлажнителей сотовый увлажнитель дает большее падение давления и снижает скорость воздуха в воздуховоде, следовательно необходимо увеличить его диаметр.

8.5 Безопасность

Для обеспечения максимальной безопасности турбины, перед ее вводом в эксплуатацию надо учесть следующее:

- распылительные форсунки должны быть надежно закреплены на распределительных коллекторах, так как от вибрации они могут отсоединиться и повредить компрессор; для того чтобы этого не произошло, некоторые производители страхуют распылительные форсунки металлической проволокой. Вместо этого можно установить в воздуховоде решетку или другое ограждение подходящего размера в месте, где испарение воды уже завершено. Такое место находится перед шумоглушителем;
- диаметр капелек распыляемой воды не должен превышать 20 мкм, чтобы они легко подхватывались воздушным потоком и не повреждали лопатки компрессора.

(*) Внутреннее охлаждение: Если распылять чуть больше воды, чем может испариться при заданных климатических условиях, то неиспарившиеся капли воды подхватываются идущим к компрессору потоком воздуха, где они испаряются в процессе нагрева воздуха при его сжатии. Поскольку компрессор потребляет более половины суммарной производимой турбиной энергии и расход энергии на сжатие воздуха прямо пропорционален температуре воздуха, то испарение воды внутри компрессора дает существенное повышение полезной мощности турбины.



Испарительное охлаждение оборуженными теплообменниками

Количество тепла, отводимое системами кондиционирования воздуха, в состав которых входит чиллер или сухой охладитель, зависит от различных факторов, включая температуру наружного воздуха по сухому термометру. Системы испарительного охлаждения можно использовать для охлаждения воздуха в регионах, где температура воздуха по сухому термометру выше температуры по влажному термометру минимум на 5 °C.

Размер большинства установок с чиллером и сухим охладителем выбирается исходя из максимальной наружной температуры. Последние годы это приобретает все большее значение из-за очень жаркой погоды летом. Увеличение размера влечет за собой увеличение загрязнений окружающей среды и шума, а также требует неоправданно больших инвестиций, в частности в районах, где пиковые потребности по холоду кратковременны.

В таких условиях испарительные охладители выглядят предпочтительнее и на сегодняшний день на рынке имеется большое количество различных технических решений, включая:

- а) увлажняющие картриджи, которые устанавливают непосредственно перед теплообменником;
- б) солнцезащитные экраны, увлажняемые из распылительных форсунок;
- в) водяной насос с распределительной системой для мелкодисперсного распыления воды в направлении, противоположном направлению потока воздуха в теплообменнике

Рассмотрим последний вариант подробнее. Насосный агрегат работает в зависимости от температуры наружного воздуха или давления конденсации, или в зависимости от сочетания обоих факторов.

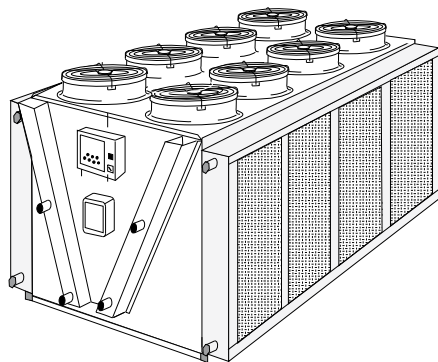


Рис. 9.1 а: увлажняющие картриджи перед теплообменником

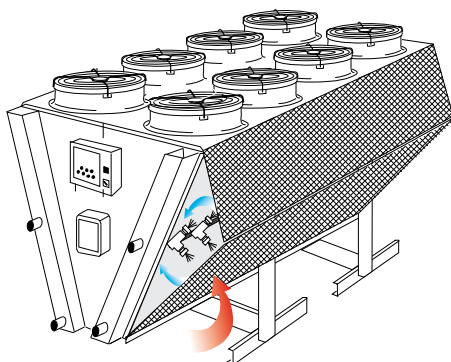


Рис. 9.2 б: солнцезащитные экраны, увлажняемые из распылительных форсунок

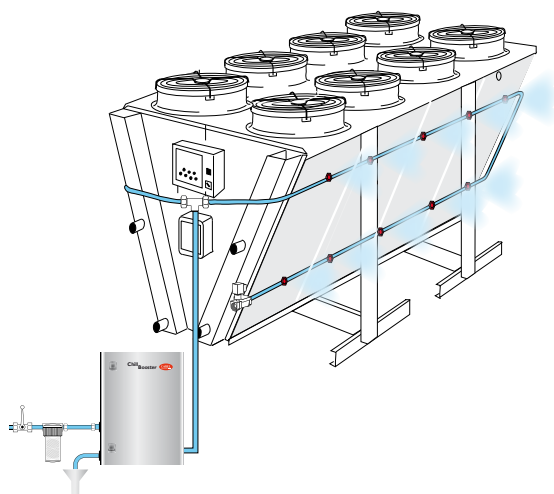


Рис. 9.3 с: насосный агрегат и водораспылительная система

Быстро испаряющиеся капельки воды поглощают энергию воздуха, который соответственно охлаждается и контактирует с оребренной поверхностью теплообменника при более низкой температуре. Таким образом, теплообменник может рассеивать номинальное количество тепла даже в условиях, когда на улице стоит более жаркая погода, чем заявлено в технических условиях.

Обратите внимание, что капельки распыляемой воды испаряются не полностью и долетают до оребрения теплообменника. Это объясняется тем, что расстояние до него достаточно небольшое, а также колебаниями температуры и влажности наружного воздуха; следовательно, оребрение теплообменника становится влажным, а значит общая холодопроизводительность системы увеличивается.

Распылительные увлажнители, используемые для испарительного охлаждения, могут работать как на обычной водопроводной, так и деминерализованной воде. Преимущество водопроводной воды заключается в том, что она всегда доступна и стоит дешевле деминерализованной, однако в водопроводной воде содержится некоторое количество минеральных солей, которые будут откладываться на оребрении теплообменника, а значит его придется периодически чистить. Многие производители не рекомендуют распылять более 200 л водопроводной воды в год во избежание появления таких отложений – т.е. только на период пиковой нагрузки по холоду. Деминерализованная вода содержит гораздо меньше минеральных солей, поэтому отложений гораздо меньше; производители практически пришли к единому мнению, что увлажнители могут проработать до 900 ч/год до проведения чистки от отложений соли. Ниже в таблице приведены преимущества и недостатки решений, показанных на рисунках 9.1, 9.2 и 9.3.

ДОСТОИНСТВА	a)	b)	c)
Высокая холодопроизводительность и небольшие размеры, меньше использование хладагентов (газов), ниже шум, меньше эксплуатационные расходы	√	√	√
Теплообменники не находятся непосредственно под солнцем	√	√	
Высокая эффективность теплообмена, при условии что теплообменники содержатся в чистоте (нет пыли, снега, песка, грязи)	√	√	
Ниже давление конденсации и температура на выходе компрессора, а значит больше срок службы	√	√	√
Обслуживание компрессора меньше, а надежность системы выше	√	√	√
Холодопроизводительность больше как минимум на 20–30%	√	√	√
Простота монтажа на действующие, модернизируемые или новые системы без нарушения условий гарантии		√	√
Не требуется водоподготовка	√	√	√
Меньше вред экологии: меньше потребление энергии и воды		√	√
Температура приточного воздуха примерно на 5 °C ниже	√	√	√
НЕДОСТАТКИ			
Высокая стоимость обслуживания (замена влажных картриджей, экранов)	√	√	
Точность регулирования ниже	√	√	
Падение давления круглый год	√	√	

9.1 Преимущества распылительных систем

По сравнению с жидкостными охладителями и традиционными конденсаторами распылительные системы обладают следующими характеристиками:

- меньше размеры, более компактная конструкция, ниже скорости расхода воздуха, меньше энергопотребление компрессора и вентилятора, меньше шум от работы всей системы;
- легко устанавливается: система легко устанавливается как на действующие, так и на новые установки кондиционирования и охлаждения. Поскольку испарительный охладитель размещается вне помещения, нет необходимости менять контуры внутри самой системы и нарушать условия гарантии как новых, так и действующих систем;
- меньше вред экологии: ниже энергопотребление (а значит и выбросы CO₂) благодаря меньшему периоду работы теплообменника, меньше расходу воды по сравнению с увлажнителями-воздухоочистителями и соевыми увлажнителями; у последнего на каждый литр испаряемой воды примерно 3–4 л уходит в рециркуляцию (ниже уровень гигиены) или в дренаж, если увлажнитель без рециркуляции;
- если для распыления используется подготовленная и очищенная вода, меньше вероятность появления биологической пленки и отложений;
- когда увлажнитель не работает, вода внутри труб может нагреваться солнечными лучами. Как правило, коллекторы насосного агрегата выходят на южную сторону и слегка наклонены вниз. Кроме этого, имеется функция автоматического слива после выключения увлажнителя. Таким образом, все вместе эти факторы предотвращают застаивание воды. При возникновении риска роста бактерий в используемой воде можно установить специальную ультрафиолетовую лампу, для дезинфекции воды;
- дольше срок службы конденсаторного компрессора: температура конденсации ниже, а давление на выходе компрессора меньше, поэтому механическая нагрузка на всю систему уменьшается, а значит оборудование работает более надежно и требует меньше обслуживания.

9.2 Применение

Ниже приведены заводские характеристики сухих охладителей и улучшение характеристик, достигаемое за счет применения испарительного охлаждения. При этом подразумевается, что скорость вентилятора постоянная. Обратите внимание, что количество рассеиваемого тепла снижается при увеличении температуры на улице и что производительность сухого охладителя с испарительным охлаждением при 30 °C (365,9 кВт) и при расходе воды 300 л/ч сопоставима с производительностью при 25 °C (385,5 кВт) без увлажнения теплообменника. Под эквивалентной температурой подразумевается такая температура уличного воздуха, при которой можно рассеять такое же количество тепла без увлажнения теплообменника. При условии использования вентиляторов с регулируемой скоростью под управлением инвертера, производительность систем с низкой температурой может увеличиться еще больше.

Проектные характеристики	Температура охлаждающей воды на входе (°C)	36	Площадь теплообменника (м²)	1608,6
	Температура охлаждающей воды на выходе (°C)	31,3	Толщина ребер (мм)	1
	Температура на улице (°C)	26	Материал оребрения	Алюминий
	Влажность на улице (% отн. влажности)	50	Скорость расхода воздуха (м³/ч)	186600
	Потребляемая мощность (кВт)	21,3	Рассеиваемое тепло (производительность) при 26 °C (кВт)	340,3

Без испарительного охлаждения		С испарительным охлаждением			
Температура на улице (°C при 50% отн. влажности)	Производительность без увлажнения (кВт)	Производительность с увлажнением (кВт)	Повышение производительности (%)	Расход воды (л/ч)	Эквивалентная температура (°C)
15	823,6	860,9	5	50	14,2
20	597,3	649,9	9	50	18,8
25	385,5	420,6	9	50	24,2
30	161,2	365,9	127	300	25,4
35	- (*)	339,3	-	600	25,9

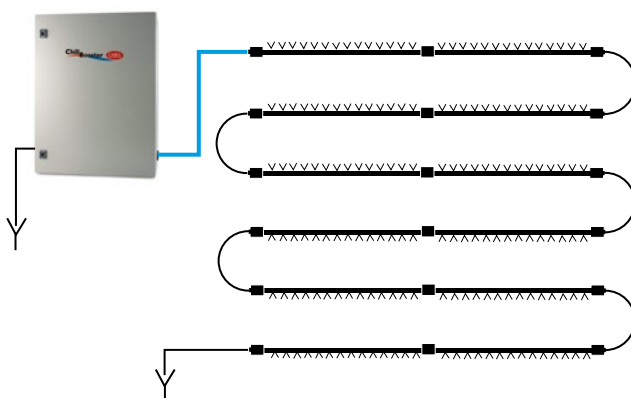
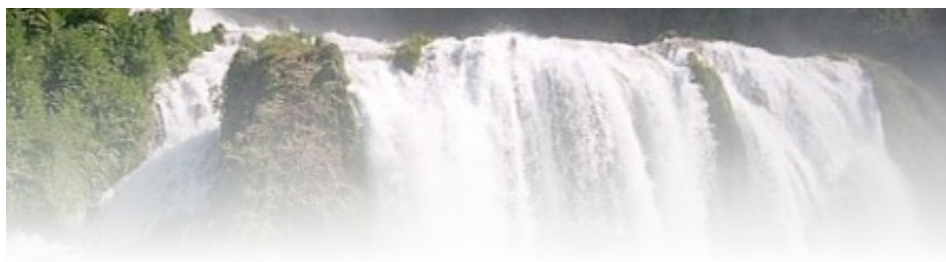


Рис. 9.4 Схема расположения коллекторов с распылительными форсунками для предотвращения застоя воды

Примечание:

- предполагается, что скорость вращения вентилятора одинакова и потребляемая мощность во всех условиях составляет 21,3 кВт;
- все значения производительности в условиях, отличных от стандартных (26 °C при 50% отн. влажности), получены при помощи специального инструмента, разработанного компанией CAREL.

(*) Сухие охладители не могут рассеивать тепло, так как температура на улице выше температуры жидкого хладагента



Испарительные охладители: соответствие требованиям VDI 6022 по части систем вентиляции, отопления и кондиционирования

Испарительные охладители распыляют в воздухе миллионы капель воды, которые мгновенно испаряются и поглощают тепло из воздуха, увлажняя и охлаждая его.

Испарительные охладители используются для испарительного охлаждения или адиабатического увлажнения, либо для того и другого одновременно. Их устанавливают внутри центральных кондиционеров, т.е. в секции увлажнения, или непосредственно в кондиционируемых помещениях. В частности, такие увлажнители подходят для применения в условиях большой нагрузки увлажнения (более 120–150 кг водяного пара в час). Кроме этого, они потребляют очень мало электроэнергии, а именно порядка нескольких десятков ватт на литр распыляемой воды в час.

Присутствующие в воздухе споры, волокна различного природного происхождения и пыль могут образовывать биологическую пленку, которая служит хорошей средой обитания и роста микроорганизмов. Особенно благоприятной для их развития получается среда, где такие споры и волокна смешиваются с конденсатом в виде неиспарившихся капелек воды. Если не проводить профилактическое обслуживание, может возникнуть очень опасная ситуация, когда через систему вентиляции болезнетворные организмы будут распространяться по всем кондиционируемым помещениям. Такая ситуация возможна, даже когда увлажнение осуществляется непосредственно в помещениях.

Указанные проблемы гигиены побудили ведущие организации по стандартизации издать целую серию нормативных материалов, призванных ограничить эту опасность. Разработанные стандарты устанавливают требования по части эксплуатации, установки, работы и обслуживания различных составляющих систем вентиляции (фильтров, воздухонагревателей) и, в частности, увлажнителей.

Среди всех стандартов стоит отметить немецкий стандарт VDI 6022, который, несмотря на то, что действует только на территории Германии, может расцениваться как основополагающий стандарт во всей Европе. Претерпев некоторые изменения, в Италии этот стандарт был опубликован в издании Official Gazette №256 от 3 ноября 2006 г. под названием “Рекомендации по составлению протоколов профилактического техобслуживания систем кондиционирования воздуха”.

10.1 VDI 6022: краткое описание

Стандарт VDI 6022 “Гигиенические требования по части систем вентиляции и кондиционирования воздуха” устанавливает требования по части гигиены вентиляционных систем. В настоящее время действительным является версия 2006 г., представляющая собой обновленное издание стандарта 1998 г. Обновленный стандарт содержит требования по части охраны здоровья людей для всех систем вентиляции воздуха, включая некоторые производственные отрасли, где вентиляция играет важнейшую роль. Если раньше стандарт охватывал только офисные помещения и конференц-залы, теперь он распространяется на системы вентиляции любых помещений, где люди могут находиться не менее 30 дней в году или как минимум 2 часа в день.

VDI 6022: содержание

Офисные помещения и конференц-залы	
Любые помещения, где люди могут проводить не менее 30 дней в году или не менее 2 часов в день	
Требования по гигиене	
Определение понятия эталонного воздуха	Свежий наружный воздух или воздух в помещении в пределах рабочего диапазона температуры и влажности
Качество вентиляции воздуха	Система отопления, вентиляции и кондиционирования не должна ухудшать качество воздуха ниже установленных значений. Рекомендованные значения температуры и влажности в зависимости от рода выполняемой в помещениях деятельности см. в стандартах EN 13779 и VDI 3803.
Качество воды для увлажнителя	Требования по качеству воды см. в стандартах VDI 3803 и UNI 8884

Разница между адиабатическим увлажнителем с циркуляцией воды и без нее	Существенная разница в периодическом обслуживании
Ссылки на конкретные системы вентиляции	Отрасли: табачное производство, деревообрабатывающие фабрики, текстильные и бумажные фабрики, цеха металлических деталей и покраски автомобилей, жилые помещения

10.2 Требования к увлажнителям

Стандарт VDI 6022 устанавливает требования по части проектирования, эксплуатации и обслуживания всех компонентов систем кондиционирования воздуха и, в частности, систем увлажнения.

Требования к увлажнителям можно разделить на четыре основных категории:

- требования по части используемой в увлажнителях воды;
- требования по части компонентов и материалов;
- функциональные требования;
- конструктивные требования.

Далее в таблице эти требования рассмотрены более подробно, а также отмечены следующие рекомендации стандарта VDI 6022:

- настоятельно рекомендуется применять адиабатические увлажнители без циркуляции воды, в противном случае возникает опасность развития бактерий (в них нет емкостей сбора для циркулирующей воды, которые обычно являются рассадником опасных микроорганизмов, водорослей и бактерий);
- используемая для увлажнения вода должна быть, во-первых, питьевой, а во-вторых, желательно, деминерализованной (хотя бы частично), в противном случае содержащиеся в ней минералы будут образовывать биологическую пленку, на которой могут развиваться микроорганизмы. Это важное требование относится и к распылительным увлажнителям, так как при использовании деминерализованной воды уменьшается опасность появления минеральных отложений в воздуховоде и помещении. Также рекомендуется использовать ультрафиолетовые лампы;
- все детали, материалы и компоненты не должны представлять пищу для микроорганизмов или образовывать благоприятную среду для их развития; все они должны легко чиститься. Учитывая вышесказанное, рекомендуется использовать коррозионно-устойчивые материалы, например пластик или сталь как минимум марки AISI 304;
- вода из поддона для сбора капель воды, используемого во всех адиабатических увлажнителях, должна непрерывно сливаться;
- крупные капли воды, переносимые воздушным потоком, должны отсекаются

каплеотделителем (обязательный компонент), конструкция которого должна предусматривать легкий демонтаж и чистку. Каплеотделитель также должен изготавливаться из коррозионно-устойчивого и быстросохнущего материала во избежание застоя воды;

- во избежание образования конденсата после увлажнителя, следует устанавливать контрольный датчик влажности, чтобы при необходимости уменьшить увлажнение воздуха задолго до приближения к точке насыщения (например, на уровне ниже 80–85% относительной влажности);
- увлажнители с циркуляцией: после выключения увлажнителя вода должна сливаться из всех компонентов увлажнителя, где она содержится или протекает; увлажнители без циркуляции: вода должна сливаться, если время простоя увлажнителя превышает 48 часов.

ТРЕБОВАНИЯ К УВЛАЖНИТЕЛЯМ

Требования к используемой воде		
	VDI 6022	Замечания для адиабатических увлажнителей
Используемая вода: должна быть питьевой и не должна загрязнять воздух органическими/неорганическими веществами и посторонними запахами	§ 4.3.7 • UNI 8884 • VDI 3803	Требования по электропроводности и жесткости воды зависят от типа помещения (стандартное помещение, центр обработки данных, стерильное помещение) и определяют периодичность проведения техобслуживания; кроме этого, периодичность определяется инструкциями производителя и требованиями местных стандартов и директив; здесь приводятся требования итальянских и немецких стандартов.
Используемая вода: требуется установка обратного клапана	§ 4.3.7 Required by EN 1717	
Увлажнители с рециркуляцией воды: удаление солей из циркулирующей воды	§ 4.3.7	
Система вентиляции не должна загрязнять воздух посторонними запахами	§ 3.5	Перед распылением трубы, по которым идет вода, должны промываться. Хранение циркулирующей воды: дезинфекция веществами, не имеющими запаха и безопасными для человека
Отсутствие загрязнителей в виде органических/неорганических веществ	§ 3.5	Для распыления следует использовать воду, которая хотя бы частично деминерализована. Таким образом снижается количество минералов, попадающих в воздух. UNI 8884-1998: • не более 100 мкСм/см • не более 50 ppm CaCO ₃

Требования по части компонентов и материалов: не должны способствовать росту бактерий и должны легко чиститься

Материалы, используемые в изготовлении компонентов, не должны содержать вредных веществ и способствовать росту микроорганизмов	§ 3.5, 4.1.1, 4.3.7	
Применение коррозионно-устойчивых материалов	§ 4.3.7	по требованиям стандартов VDI 3803 и EN 13053: • не имеющий пор пластик, не способствующий росту бактерий • сталь марки не хуже AISI 304
Компоненты не должны содержать стекла и минеральных волокон		
Запрещается использовать краску и уплотнительные материалы, содержащие растворители и пористую набивку	§ 3.5	
При проектировании и изготовлении компонентов следует предусмотреть, чтобы они не способствовали отложению грязи и росту бактерий	§ 4.3.7	Все поверхности должны быть гладкими и не иметь впадин или желобков, а если таковые имеются, они должны находиться в доступных местах и легко чиститься
Любой компонент должен предусматривать возможность чистки и дезинфекции по приемлемой цене без необходимости демонтажа		Все детали, предусматривающие необходимость чистки/дезинфекции должны быть легкодоступны
Производитель обязан производить чистку компонентов после изготовления и перед упаковыванием	§ 4.4	

Функциональные требования: автоматическое выключение при неисправности и установка датчика-ограничителя после секции увлажнения во избежание появления конденсата

Увлажнители с рециркуляцией воды: после выключения увлажнителя вода должна сливаться из всех компонентов, где она собирается или протекает	§ 4.3.7 Включая увлажнители без рециркуляции воды, если они выключены более 48 часов	Для слива воды из бачков и труб должны предусматриваться сливные клапаны и средства продувки. Для удаления остатков воды, которые обычно всегда присутствуют, после выключения увлажнителя должен периодически запускаться цикл промывки проточной, т. е. не циркулирующей, водой.
Неисправность и/или выключение центрального кондиционера: автоматическое выключение и слив воды из увлажнителя	§ 4.3.7 Включая увлажнители без рециркуляции воды и линии воды	Дистанционное включение и выключение

Контроль влажности после увлажнителя во избежание появления конденсата, особенно перед фильтром	§ 4.1.1, 4.3.9.1	Предпочтительнее использовать датчик-ограничитель
Конструктивные требования: постоянный слив воды из водосборника и наличие каплеотделителя в конце секции увлажнения		
Увлажнители с рециркуляцией: устройство для полного слива воды и сушки водосборника	§ 4.2.4, 4.3.7 В увлажнителях без рециркуляции вода также должна сливаться по всей линии	
Поддон для сбора капель воды: конструкция поддона должна предусматривать постоянный слив воды	§ 4.3.7 В адиабатических увлажнителях без рециркуляции тоже должен быть поддон	Должен изготавливаться из коррозионно-устойчивого материала, например стали марки не хуже AISI 304 или алюминия AlMg
Внутри секции увлажнения должно быть освещение	§ 4.3.7 Во время работы увлажнителя освещение должно быть выключено, чтобы не способствовать росту водорослей. Освещение извне не должно проникать внутрь.	
Для обеспечения постоянной дезинфекции рекомендуется использовать ультрафиолетовые лампы. Химические дезинфицирующие составы разрешается использовать при условии, что они безопасны для здоровья	§ 4.3.7	
Каплеотделители: предотвращают образование конденсата после секции увлажнения	§ 4.1.1	
Каплеотделители: должны предусматривать возможность снятия для чистки	§ 4.1.2	Должны изготавливаться из модульных панелей из стали марки AISI 304 или выше

10.3 Преимущества датчика-ограничителя

Согласно одному из требований стандарта VDI 6022 (параграф 4.1.1), приведенных в таблице на предыдущей странице, необходимо контролировать влажность после секции увлажнения во избежание образования конденсата. В настоящем параграфе рассматриваются преимущества, достигаемые за счет установки датчика-ограничителя как с точки зрения гигиены, так и контроля влажности воздуха. Датчик-ограничитель, устанавливаемый после секции увлажнения, контролирует влажность воздуха и таким образом предотвращает конденсации влаги. В качестве датчика-ограничителя можно использовать гигростат, работающий по принципу включения и выключения, или активный датчик влажности, который посылает сигнал на снижение производительности увлажнителя воздуха до максимально допустимого значения, чтобы в воздуховоде после увлажнителя не конденсировалась влага. Ниже представлена сводная таблица с описанием достоинств и недостатков обоих типов устройств.

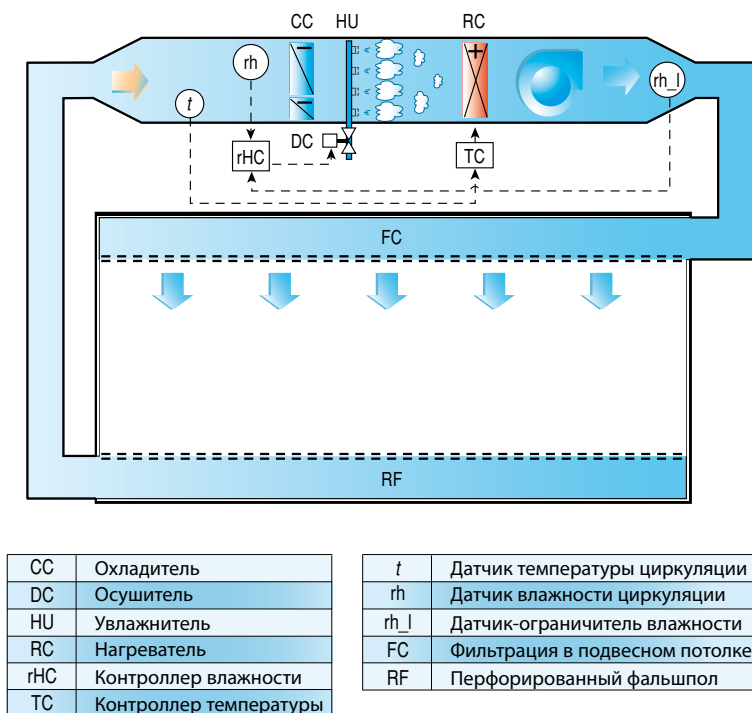


Рис. 10.1 Схема системы кондиционирования воздуха в лаборатории с жесткими требованиями по точности поддержания температуры и влажности

	Принцип работы	Цена	Регулирование влажности воздуха и гигиена
Гигростат-ограничитель	• Полностью останавливает процесс увлажнения, когда относительная влажность в воздуховоде становится больше или равной предельному значению; • запускает увлажнение, если относительная влажность в воздуховоде становится меньше предельного значения. Контроллер должен иметь: - 1 аналоговый вход для регулирующего датчика в помещении; - 1 цифровой вход для гигростата-ограничителя.	Низкая	<i>Регулирование: недостаточно точное</i> Поскольку гигростат работает по принципу включено / выключено, происходят колебания влажности и температуры (следует помнить, что адиабатическое увлажнение влияет на температуру). Возникает опасность чрезмерного увлажнения воздуха и конденсации влаги.

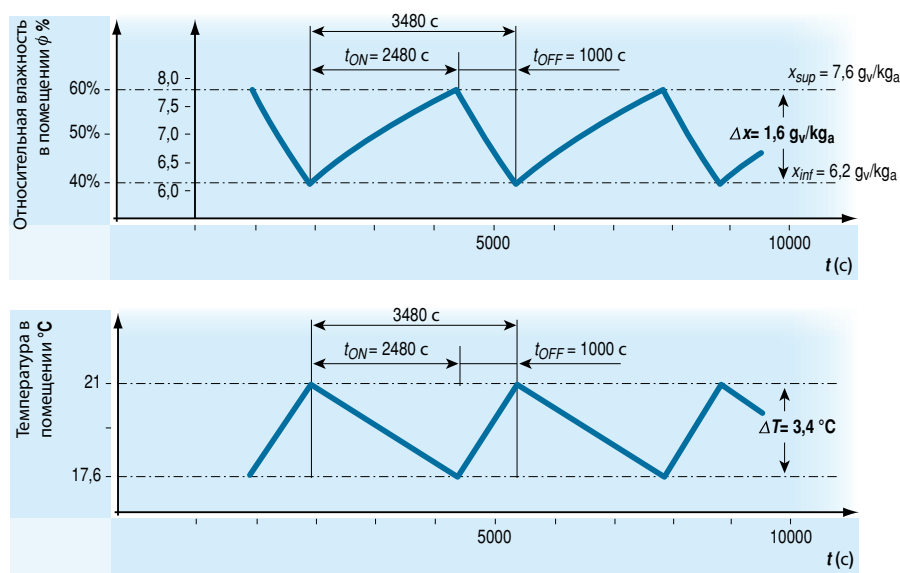


Рис. 10.2 Графики температуры и влажности в помещении, увлажняемом по принципу включено / выключено

	Принцип работы	Цена	Регулирование влажности воздуха и гигиена
Датчик-ограничитель	Регулирует процесс увлажнения, когда относительная влажность в воздуховоде приближается к предельному значению, и прекращает увлажнение, только когда относительная влажность становится больше или равной предельному значению (см. графики ниже). Контроллер должен иметь 2 аналоговых входа: один для регулирующего датчика в помещении, второй для датчика-ограничителя.	Немного выше	Регулирование влажности: значительно точнее Увлажнение продолжает выполняться, но при меньшей производительности: уровень влажности может оставаться ниже заданного значения относительной влажности, но в конце концов влажность сохраняется постоянной. Опасности появления конденсата нет.

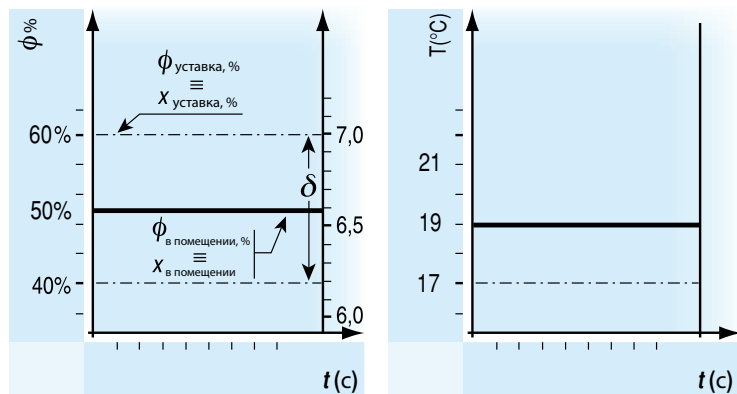


Рис. 10.3 Баланс температуры и влажности в помещении, увлажняемом при помощи модулируемого регулирования

Если рассматривать датчик-ограничитель, одна из возможных схем работы предполагает, что контроллер увлажнителя постоянно считывает показания влажности в помещении (%rH1 на графике ниже) и показания датчика-ограничителя, размещенного после секции увлажнения (%rH2 на графике) и вычисляет подходящую производительность увлажнения для каждого показания, а затем выбирает наименьшее из них. Таким образом:

1. если запрос увлажнения по показаниям датчика в помещении больше, чем запрос увлажнения по показаниям датчика-ограничителя, производительность увлажнения будет ограничена по показаниям датчика-ограничителя;
2. в противном случае увлажнитель будет увлажнять воздух настолько, насколько это требуется по показаниям датчика в помещении.

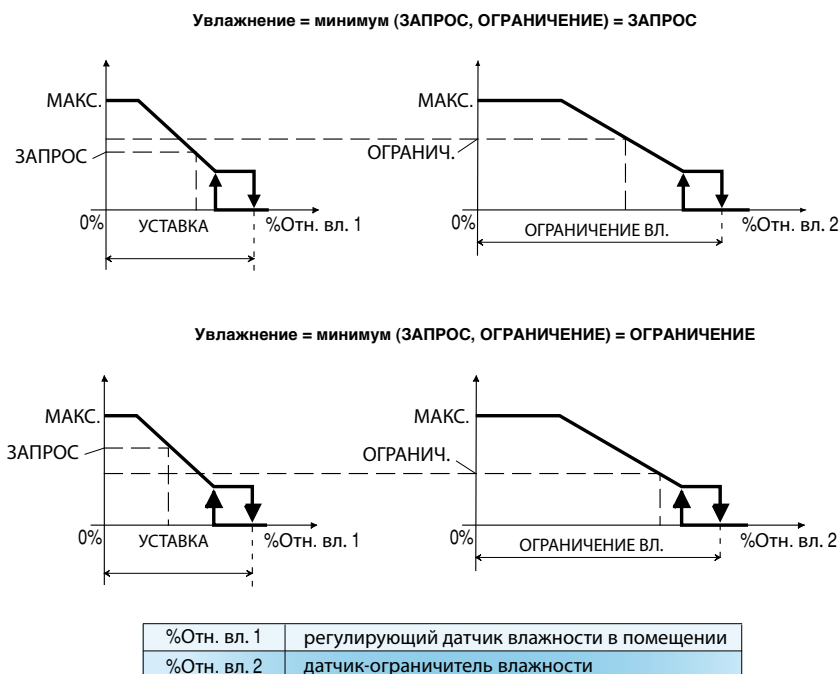


Рис. 10.4 Схема регулирования влажности с датчиком-ограничителем

Датчики-ограничители, во-первых, обеспечивают более точное поддержание влажности и температуры, чем гигростаты, а во-вторых, гарантируют отсутствие конденсации влаги в воздуховоде после секции увлажнения. Это же утверждение справедливо для систем с переменным расходом воздуха.

10.4 VDI 6022: техническое обслуживание увлажнителя

В стандарте VDI 6022 установлены требования по части технического обслуживания секции увлажнения, см. таблицу ниже. Изучив таблицу, можно сделать следующие выводы:

- адиабатические увлажнители с рециркуляцией воды имеют недостаток в виде необходимости проведения дважды в месяц проверок на предмет наличия бактерий;
- адиабатические увлажнители без рециркуляции воды требуют меньше обслуживания и с меньшей периодичностью, чем модели с рециркуляцией воды.

В таблице приведены расчет расходов на обслуживание, с разбивкой на эксплуатационные расходы и расходы на бактериологический анализ только для адиабатических увлажнителей со ссылкой на стандарт VDI 6022 (предполагается, что: 1 час работы = 30 евро, 1 полная проверка = 100 евро). В эти расходы не входит стоимость запчастей, так как она зависит от модели увлажнителя. Сравнение

ясно показывает преимущество адиабатических увлажнителей без рециркуляции воды: 1200 евро в год вместо 5970 евро в год у адиабатических увлажнителей с рециркуляцией. Причины этого следующие:

1. Потребность по ежегодному обслуживанию адиабатических увлажнителей без рециркуляции ниже: 40 часов в год вместо 119 часов в год для моделей с рециркуляцией воды;
2. Бактериологический анализ должен проводиться раз в 6 месяцев, а для адиабатических увлажнителей с рециркуляцией – дважды в месяц. В денежном эквиваленте получается:
 - модели с рециркуляцией: 12 месяцев x 2 проверки/месяц x 100 евро за каждую проверку = 2400 евро в год;
 - модели без рециркуляции: 2 проверки в год x 100 евро за каждую проверку = 200 евро в год.

Таким образом, адиабатические увлажнители без рециркуляции обходятся дешевле на 2200 евро в год только за счет бактериологического анализа.

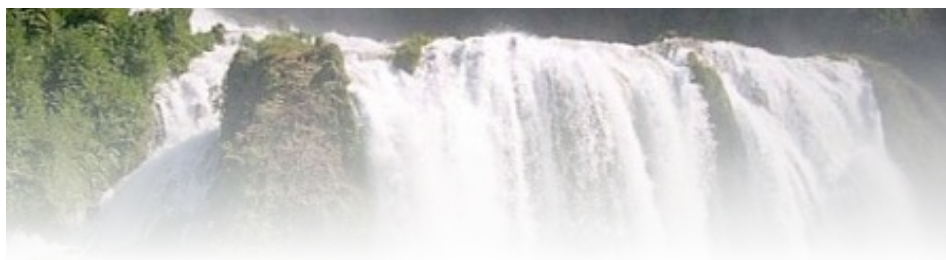
ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ТЕХОБСЛУЖИВАНИЕ																			
VDI 6022: процедуры обслуживания		АДИАБАТИЧЕСКИЙ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ										АДИАБАТИЧЕСКИЙ БЕЗ ЦИРКУЛЯЦИИ							
		14 Дней	1 Месяц	3 Месяцев	6 Месяцев	12 Месяцев	24 Месяцев	14 Дней	1 Месяц	3 Месяцев	6 Месяцев	1 Месяц	3 Месяцев	6 Месяцев	12 Месяцев	24 Месяцев			
1	Полная проверка соответствия требованиям гигиены специалистом						√												√
2	Проверка наличия загрязнений, повреждений, размножения бактерий и коррозии: чистка и ремонт		√							√									
3	Содержание бактерий в воде: если > 1.000 КОЕ/мл для легионеллы пневмофила), промывка дезинфицирующими средствами, ополаскивание, сушка, анализ качества используемой воды	√ Циркуляция воды												√ Анализ используемой воды: изотерм.:					
4	Проверка контура слива воды из поддона или бачка в изотермических моделях									√									
5	Проверка циркуляционного насоса на предмет загрязнений, водопроводных линий на предмет отложений, проверка состояния фильтров: чистка водяного контура и насоса			√															
6	Проверка распылительных форсунок на предмет отложений: чистка или замена форсунок		√							√									
7	Проверка датчика-ограничителя													√					
8	Проверка работоспособности датчика электропроводности: калибровка	√																	
9	Проверка работоспособности устройства стерилизации: ремонт				√														
10	Проверка механизмов автоматического выключения					√													
11	Чистка увлажнителя после простоя более 48 ч: мойка чистящими средствами / дезинфицирующими составами, ополаскивание и сушка	По необходимости																	
12	Каплеотделитель и выпрямитель потока: проверка на предмет загрязнений, отложений и коррозии. Если выявлены отложения, их следует удалить и почистить каплеотделитель, проверить состояние воздуховода после каплеотделителя		√														По стандарту не требуется, но рекомендуется		
	КОЛИЧЕСТВО ПРОЦЕДУР ЗА КАЖДЫЙ ПЕРИОД (МЕСЯЦЫ)	2	4	1	1	1	1	1	1	0	1	2	3	0	1				
	СУММАРНОЕ КОЛИЧЕСТВО ПРОЦЕДУР	2	6-4-2	7-6-1	8	9	10	0	1	3	6								

Таблица 10.1

ОБСЛУЖИВАНИЕ: ПРИМЕРНАЯ СТОИМОСТЬ (время работы: примерная оценка компании CAREL)																			
VDI 6022: проверки и ремонт		АДИАБАТИЧЕСКИЙ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ										АДИАБАТИЧЕСКИЙ БЕЗ ЦИРКУЛЯЦИИ							
		14 Дней	1 Месяц	3 Месяца	6 Месяцев	12 Месяцев	24 Месяцев	14 Дней	1 Месяц	3 Месяца	6 Месяцев	12 Месяц	24 Месяц						
1	Полная проверка соответствия требованиям гигиены специалистом						√												√
2	Проверка наличия загрязнений, повреждений, размножения бактерий и коррозии: чистка и ремонт		1 Н									1 Н							
3	Содержание бактерий в воде: если > 1000 КОЕ/мл (1 КОЕ/мл для легионеллы пневмофила), промывка дезинфицирующими средствами, ополаскивание, сушка, анализ качества используемой воды	1/2 Н + 100 €/analysis												1/2 Н + 100 €/analysis					
4	Проверка контура слива воды из поддона или бабка в изотермических моделях											1/2 Н							
5	Проверка циркуляционного насоса на предмет загрязнений, водопроводных линий на предмет отложений, проверка состояния фильтров: чистка водяного контура и насоса			1,5 Н															
6	Проверка распылительных форсунок на предмет отложений: чистка или замена форсунок		2 Н						2 Н*										
7	Проверка датчика-ограничителя											1/2 Н							
8	Проверка работоспособности датчика электропроводности: калибровка		1 Н																
9	Проверка работоспособности устройства стерилизации: ремонт				2 Н														
10	Проверка механизмов автоматического выключения					1 Н													
11	Чистка увлажнителя после простоя более 48 ч: мойка чистящими средствами/дезинфицирующими составами, ополаскивание и сушка																		
12	Каплетодельитель и выпрямитель потока: проверка на предмет загрязнений, отложений и коррозии. Если выявлены отложения, их следует удалить и почистить каплетодельитель, проверить состояние воздуховода после каплетодельителя		4 Н											4 Н*					
КОЛИЧЕСТВО ПРОЦЕДУР ЗА КАЖДЫЙ ПЕРИОД (МЕСЯЦЫ)		1	8	1,5	2	1	TBD	0	2	1,5	5	0							TBD
ЧАСОВ РАБОТЫ В ГОД		119 Н = 12 x (1+8) + 4 x 1,5 + 2 x 2 + 1																	
СТОИМОСТЬ ПРОЦЕДУР (1 ч работы = 30 евро)		230	240	45	60	30	TBD	0	60	45	150	0							TBD
СУММАРНАЯ СТОИМОСТЬ ПРОЦЕДУР		230 €	470 €	515 €	575 €	605 €	605 € + TBD	0 €	60 €	105 €	255 €	255 €							255 € + TBD
СУММА В ГОД (кроме проверки каждые полгода)		5970 = 12 x (230+240) + 4 x 45 + 2 x 60 + 30																	

(*) практически 0 при условии использования деминерализованной воды

Таблица 10.2



Опыт применения

Ниже приведены несколько примеров, демонстрирующих преимущество испарительного охлаждения.

11.1 Оптимальное круглогодичное кондиционирование воздуха и энергопотребление

Новый 4-звездочный отель Parchi del Garda (Италия) расположился в окружении зеленых парков в районе озера Гарда. Отель разделен на пять крыльев, имеет 223 номера, включая 15 номеров повышенной категории (сюитов) и находится прямо в прибрежной зоне.

Для экономии электропотребления система кондиционирования воздуха отеля имеет шесть центральных кондиционеров с пластинчатыми теплообменниками, работающими по принципу косвенного испарительного охлаждения. Кондиционирование воздуха обеспечивается главным центральным кондиционером производительностью 35 000 м³/ч, установленным в подвале и обслуживающим ресепшен, рестораны и один конференц-зал, и пятью дополнительными кондиционерами производительностью 4 500 м³/ч, которые размещаются под крышей и обслуживают номера. Каждый из них комплектуется адиабатическим увлажнителем humiFog с двумя распределительными стойками: одна для охлаждения номеров отеля в летнее время, а другая – для увлажнения в зимнее время.

Температура приточного воздуха в главном центральном кондиционере всегда поддерживается равной 25 °С. Для этого используются фанкойлы, подключенные к тепловым насосам. Еще пять независимых центральных кондиционеров обслуживают другие помещения и комплектуются увлажнителями humiFog для увлажнения воздуха зимой. Летом система косвенного испарительного охлаждения обеспечивает холодопроизводительность, равную 113 кВт, а экономия электропотребления составляет 33 кВт. Каждый увлажнитель потребляет всего 1,15 кВт (однофазное напряжение электропитания).



Рис. 11.1 *Спальня и конференц-зал*

Охлаждение и увлажнение в шести центральных кондиционерах обеспечивается шестью распылительными увлажнителями, работающими под контролем централизованной системы управления кондиционеров. В зависимости от параметров наружного воздуха централизованная система управления выбирает режим естественного охлаждения или естественного + испарительного охлаждения. Воздух на вытяжке увлажняется до уровня 94% относительной влажности, чтобы максимально охладить наружный воздух и поддерживать минимально допустимую температуру приточного воздуха. Система диспетчеризации обеспечивает управление всей системой по сети. Температура и влажность в отеле сохраняется на заданном уровне и прекрасной проверкой надежности поддержания микроклимата стала церемония открытия отеля, когда в конференц-зале отеля присутствовало 850 человек.



Рис. 11.2 *Распылительный увлажнитель высокого давления в техническом помещении*

11.2 Высокоэффективное охлаждение в дата-центрах

В ноябре 2010 г. японская компания Fujitsu открыла один из самых современных дата-центров в городе Нюрнберг, Германия. Сразу после окончания первого этапа строительства площадь составила порядка 480 м², на которых разместилось свыше 2500 серверов. Компания Fujitsu через собственную службу аутсорсинга смогла значительно сократить стоимость ИТ-инфраструктуры. Главной задачей было наладить эффективную работу и обеспечить экономически обоснованное и оперативное реагирование на нужды компании. Для решения поставленных задач была создана самая современная инфраструктура на базе виртуальных технологий и облачных вычислений.

Нюрнбергский дата-центр являет собой характерный пример эффективности электропотребления: коэффициент PUE составляет 1,25, что меньше, чем у обычного вычислительного центра, у которого данный показатель обычно равен примерно 1,6. Данная величина отражает не только электропотребление компьютеров, но и системы вентиляции и охлаждения, источников бесперебойного питания, освещения.

Система охлаждения и вентиляции, в состав которой входит центральный кондиционер на крыше здания, обеспечивает значительную экономию электропотребления за счет прямого естественного охлаждения. Данная технология, использующая для охлаждения свежий уличный воздух, высокоэффективна, особенно зимой, и, по сравнению с одним воздухоохладителем, подсоединенным к чиллеру, позволяет добиться сокращения эксплуатационных расходов вплоть до 90%. Если на улице стоит сухая погода, высокий процент рециркуляционного воздуха способствует увлажнению приточного воздуха под управлением четырех распылительных увлажнителей. Поставленные задачи можно считать полностью решенными: эксплуатационные расходы и расходы на обслуживание снижены в соответствии с жесткими требованиями по части энергосбережения.

Поддержанием влажности занимаются четыре распылительных увлажнителя высокого давления, которые увлажняют приточный воздух и поддерживают его в пределах рекомендованных значений из психрометрической таблицы (ASHRAE).

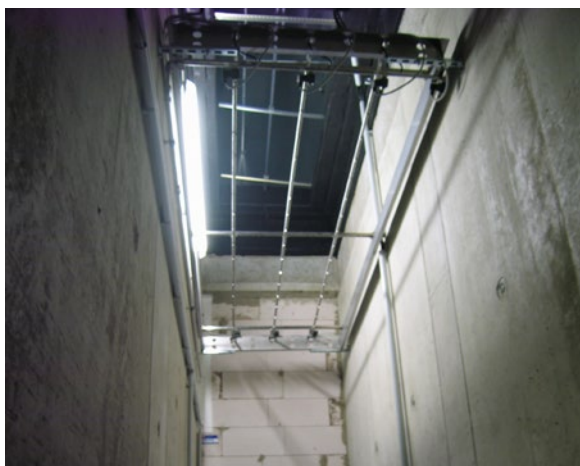


Рис. 11.3 Стойка с распылительными форсунками для увлажнения приточного воздуха

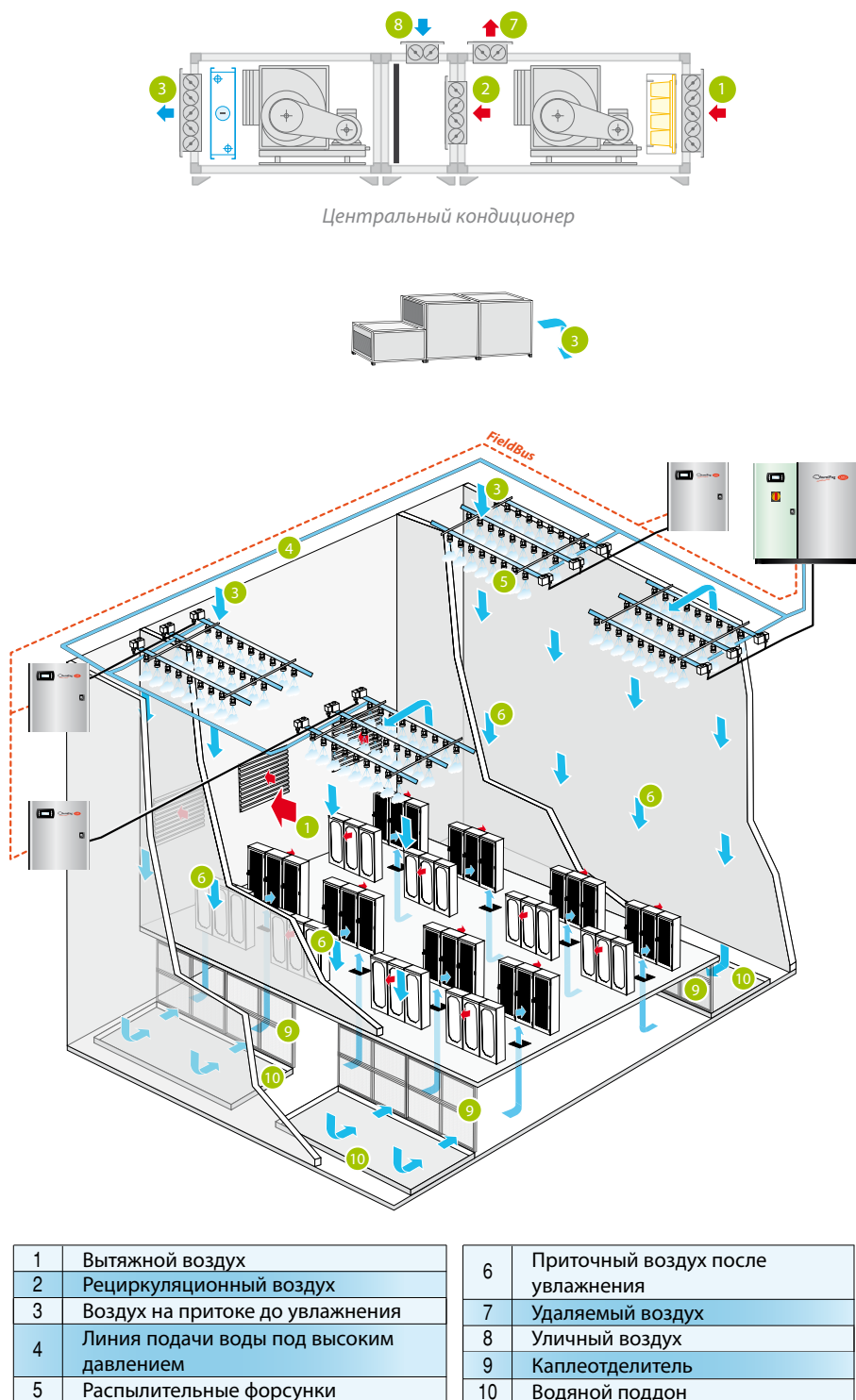


Рис. 11.4 Схема системы увлажнения и охлаждения

11.3 Испарительное охлаждение на мадридской станции метро Реñagrande

Станция Реñagrande расположена в центре Мадрида и считается одной из самых загруженных станций метрополитена столицы Испании. В часы пик станция пропускает через себя десятки тысяч пассажиров. Огромное количество людей и высокая частота движения поездов создают невероятно высокие нагрузки по явному теплу, которые требуется рассеивать или компенсировать, чтобы поддерживать на станции комфортную температуру и влажность, особенно в летнее время.

Станция оборудована двумя центральными кондиционерами, по одному на каждой платформе, которые обеспечивают 100-процентный приток наружного воздуха для снижения внутренних тепловых нагрузок. К сожалению, летом на улице настолько жарко (температура воздуха поднимается до 35 °C), что данное решение не способно поддерживать комфортные условия для пребывания людей на станции. Поэтому был предложен вариант прямого испарительного охлаждения в виде двух распылительных увлажнителей высокого давления, по одному на каждый центральный кондиционер. Каждый увлажнитель распыляет 277 килограмм воды в час, понижая температуру наружного воздуха с 35 до 28 °C и, таким образом, обеспечивая гораздо более комфортные условия на станции.

Учитывая местный климат (температуру и влажность), систему испарительного охлаждения/увлажнения можно считать особенно эффективным решением в летнее время, когда электропотребление находится на пике.

Расчетные данные:

Микроклимат на станции без испарительного охлаждения	Температура	Отн. влажность
	35 °C	40%rh
Микроклимат на станции с испарительным охлаждением	Температура	Отн. влажность
	28 °C	70%rh

В действительности параметры воздуха на станции без применения испарительного охлаждения были бы еще хуже, так как следует учитывать тепло, вырабатываемое поездами, потоком людей, погодой на улице и др.

В момент работ по техническому обслуживанию станции, которые проводились 3 сентября 2006 г. в 18:15, была зарегистрирована температура примерно 25 °C и относительная влажность 50–60%.

Суммарную холодопроизводительность можно вычислить по формуле:

$P = Q \times 1.2 (h_1 - h_2) = 71818 \text{ м}^3/\text{ч} \times 1,2 \times 4 \times 0,01163 = 400,91 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ на каждую платформу.

Электропотребление двух систем прямого испарительного охлаждения в период с 7 по 25 июня 2006 г., когда работа системы отслеживалась в течение 270 ч после

ее ввода в эксплуатацию, составило примерно 1600 кВт·ч. Если бы на станции стояла традиционная система кондиционирования с чилером и воздухоохладителем (предположим, что коэффициент EER = 2,5), данный показатель составил бы почти 40000 кВт·ч (!).



Рис. 11.5 Станция метро Peñagrande, Мадрид

11.4 Повышение эластичности волокон ткани за счет правильного увлажнения

Компания Sapphire Textile Mills Limited является одной из крупнейших текстильных фабрик Пакистана. Используемое производственное оборудование изготовлено по самым передовым технологиям Европы, Японии и США. Хлопок – местного производства, другие виды волокон поставляются лучшими поставщиками в мире. Компания производит широкий спектр продукции, включая пряжу, текстиль, изделия для дома (скатерти, шторы) и трикотаж, который экспортируется по всему миру.

Изделия изготавливаются из различной пряжи, получаемой пневмомеханическим способом прядения, разной плотности и цвета (или бесцветной). Также имеется специальная пряжа для особых изделий, получаемая при помощи специальных прядильных станков, например (Walled®) и специальная ткань типа COOLMAX®, Fortrel®, Tencel®, Modal® и Lycra®. Все операции на фабрике осуществляются по

последним техническим достижениям, в частности используется компактирующее прядение.

Как известно, разные волокна ведут себя по-разному в зависимости от способности поглощать влагу, и насколько хорошо волокно будет скользить по станку, зависит от влажности в помещении. Если влажность в помещении правильная, производственные процессы идут непрерывно без необходимости остановки станков. Если хлопок и вискоза менее чувствительны к изменению микроклимата в помещении, то синтетические волокна страдают от этого гораздо сильнее.

Генеральный директор фабрики Надеем Абдулах (Nadeem Abdullah) и исполнительный директор производственного подразделения №5 Шакхат Икбал (Shaukat Iqbal) со временем пришли к выводу, что система увлажнения на базе увлажнителей-воздухоочистителей, встроенная в камеру увлажнения, не справляется со своей задачей и не способна обеспечить требуемый микроклимат при неблагоприятных условиях на улице несмотря на большое количество воды и электричества, которые она расходует.

Ведение этого важного проекта было поручено компании New West Technologies, и наиболее подходящими для установки на фабрике Sapphire были признаны распылительные увлажнители среднего давления; выбранная в итоге система увлажнения состояла из двух шкафов производительностью 1000 л/ч. Они работают двухступенчато и отличаются минимальным расходом воды и электричества. При этом удалось добиться значительной экономии эксплуатационных расходов и расходов на техническое обслуживание, а также сокращения потребления природных ресурсов, поэтому имеется преимущество также с точки зрения экологии.

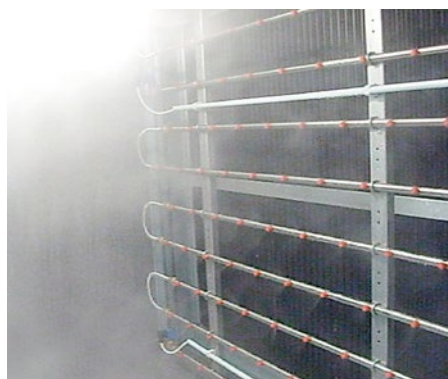


Рис. 11.6 Стойка с распылительными форсунками



Рис. 11.7 Датчик влажности, установленный на стене



Рис. 11.8 Распылительный увлажнитель среднего давления в процессе работы

Глоссарий

Термин	Определение
Коэффициент поглощения	Коэффициент поглощения адиабатического увлажнителя представляет собой отношение расхода воды, фактически поглощенной воздушным потоком (G_{ev}), к расходу воды, поданной в воздушный поток (G_{in}) и вычисляется как: $\epsilon = G_{ev}/G_{in}$
Адиабатический процесс	Один из термодинамических процессов, когда превращения или действия происходят без обмена теплом (т. е. без передачи тепла между телами и/или окружающей средой)
Воздух приточный	Уличный воздух, поступающий в помещение или систему и заменяющий некоторый объема воздуха внутри помещения или системы из соображений гигиены или в других целях
Воздух рециркуляционный	Часть воздуха из кондиционируемого помещения, которая возвращается обратно в кондиционируемое помещение после некоторой обработки и смешения с основным воздухом
Воздух свежий (наружный)	Расход уличного воздуха, который необходимо подать в кондиционируемое помещение, в зависимости от его назначения и количества присутствующих
Основной поток воздуха	В системах вентиляции и кондиционирования воздуха так называется поток уличного воздуха, который после некоторой обработки поступает внутрь кондиционируемого пространства
Центральный кондиционер	Системы, обычно состоящие из нескольких прямоугольных секций из листового металла (стали или алюминия) и имеющие либо модульное исполнение, либо предназначенные для сборки на месте, либо уже собранные на заводе-изготовителе, где в каждой секции размещается оборудование или устройство, предназначенное для изменения состояния проходящего через систему воздуха способом, зависящим от предназначения системы
ASHRAE	Американское сообщество инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха
CRAC	Кондиционирование воздуха в дата-центрах
Точка росы	Температура, до которой можно охладить воздух, не изменяя его давления, прежде чем воздух станет насыщенным (т. е. 100 % относительной влажности). При попытке продолжения охлаждения начнется процесс конденсации
ECDH	Градус-часы испарительного охлаждения

Термин	Определение
Коэффициент энерго-эффективности EER	Коэффициент энергоэффективности оборудования для кондиционирования воздуха определяется как соотношение между номинальной холодопроизводительностью в определенных условиях работы и потребляемой электроэнергией в аналогичных условиях
Энтальпия	В термодинамике так называется энергия, «доступная» в веществе в зависимости от его температуры, и поэтому способная выполнять некоторую работу или совершать некоторый процесс. Другими словами, энтальпия – это содержащееся в веществе количество энергии, которое можно использовать в зависимости от изменения его температуры и зависящее от давления и температуры окружающей среды
Испарительное охлаждение	Процесс, происходящий в потоке воздуха, в ходе которого вода поглощает из воздуха скрытую энергию, необходимую для испарения, и охлаждает его
Естественное охлаждение	Частичное или полное использование уличного воздуха в системах кондиционирования без применения каких-либо дополнительных устройств изменения температуры или влажности (в частности, без использования механического охлаждения), чтобы поддерживать требуемые микроклиматические параметры
Тепло скрытое	Тепло, передаваемое веществом (жидким или твердым) или веществу (жидкому или твердому) для изменения состояния, т.е. перехода из твердого состояния в жидкое, из жидкого – в газообразное или наоборот
Тепло явное	Величина тепла, которая приводит к повышению температуры вещества
Рекуперация тепла	Технология в кондиционировании воздуха, когда содержащееся в вытяжном воздухе тепло утилизируется и передается основному или смешанному потоку воздуха в центральном кондиционере
Рекуператоры тепла	Системы, содержащие специальный материал сотовой структуры, который поглощает тепло из потока теплого воздуха и передает это тепло непосредственно другому потоку воздуха с более низкой температурой. Система может быть как «статичной» с косвенным теплообменом, где теплый воздух протекает через группу каналов, располагающихся рядом с каналами, по которым проходит и подогревается холодный воздух, так и «роторной» с прямым теплообменом, где вращающееся колесо с наполнителем из теплопоглощающего материала сначала проходит через поток вытяжного воздуха, а затем через поток приточного воздуха, которому передает тепло
Влажность абсолютная	Общее содержание влаги в виде водяного пара в некотором объеме воздуха
Влажность относительная	Содержание водяного пара в некотором объеме воздуха при некоторой температуре в процентах от максимального содержания водяного пара в этом объеме при такой же температуре
ISO	Международная организация по стандартизации
PLC	Программируемый логический контроллер
Психрометрическая диаграмма	Диаграмма, созданная Виллисом Кэрриэром на основании экспериментальных и статистических данных в соответствии с точными и сложными физическими законами. При помощи данной диаграммы проектировщики систем кондиционирования воздуха могут определить основные свойства влажного воздуха при разной температуре. Основное преимущество диаграммы – возможность при помощи графика оперативно провести нужные расчеты температурно-влажностных процессов воздуха с достаточно высокой степенью точности

Термин	Определение
Хладагент	Вещество, применяемое в холодильных машинах, которое забирает тепло из кондиционируемого помещения (прямо или косвенно) и передает его более теплой внешней среде
Эффективность насыщения	Эффективность насыщения определяет способность увлажнителя создавать условия, способствующие насыщению кондиционируемого воздуха, где x_1 , x_2 , x_s представляют удельную влажность воздуха перед увлажнением, после увлажнения и в момент насыщения. Формула выглядит следующим образом: $\eta = (x_s - x_1) / (x_s - x_1)$
Температура насыщения	Температура, при которой в адиабатическом процессе воздух достигает 100-процентной относительной влажности
Температура по сухому термометру	Фактическая температура воздуха
Температура по влажному термометру	Температура насыщения воздуха при некотором значении температуры обычного термометра; эта температура воздуха после того, как он поглотит максимально возможное количество воды без дополнительного нагрева (см. психрометрическую диаграмму)
Водо-подготовка	Технологии, применяемые для улучшения свойств воды, используемой в системах кондиционирования воздуха. К основным видам обработки относятся смягчение, т. е. уменьшение содержания кальция, и предотвращение появления грибков и водорослей. Чтобы смягчить воду, ее пропускают через специальные составы, удаляющие из воды кальций, который может привести к образованию на оборудовании накипи и отложений. Для защиты от грибков используют специальные химические добавки или деминерализуют воду, чтобы содержащиеся в ней минералы не образовывали биологическую пленку, на которой могут развиваться микроорганизмы

Литература

- [1] Lazzarin, R., Nalini, L., *L'umidificazione dell'aria*, CAREL 2004
- [2] Briganti, A., *Il Condizionamento dell'aria*, VII ed., Tecniche Nuove 2006
- [3] Iselt, Arndt, Wilcke, *Grundlagen der Luftbefeuchtung*, CF Müller 2005
- [4] *Energy Efficiency in the Data Center*, Bitkom 2008
- [5] *High performance data center*, Pacific gas and electric company, 2006
- [6] *Evaporative Air-conditioning*, World Bank Technical Paper, 1999
- [7] Robb Drew, *High humidity and low temperature not a deterrent to evaporative cooling*, Power engineering 2001
- [8] Chaker M, Meher-Homji C.B., *Inlet fogging of gas turbine engines: climatic analysis of gas turbine evaporative cooling potential of international locations*
- [9] Lazzarin, R. Noro, M., *Feasibility of evaporative cooling in Europe*, 2010
- [10] VDI 6022: *Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and units*
- [11] Casale, C., *Prontuario dei termini per il condizionamento dell'aria*, Dario Flaccovio Editore 2004

Испарительное охлаждение



Андреа Пикколо (Andrea Piccolo) родился в городе Падуе в 1967 г. и получил образование в местном университете на факультете электроники. Начав работу в качестве специалиста по проектированию электромеханического и электронного оборудования для ведущих производителей котлов, Андреа впоследствии занимался составлением технических документов и сертификацией изделий, в частности солнечных батарей, теплонасосов и бойлеров, работающих на биомассе, а также вопросами их интеграции в системы возобновляемой энергии. С 2007 г. он работает в компании Carel на должности специалиста по подготовке документации, занимается составлением и редактированием технических документов.

Рауль Симонетти (Raul Simonetti), родившийся в 1967 г. в Монфальконе, получил образование на факультете электроники университета в Триесте. После многих лет работы в одной из ведущих сталелитейных компаний в 2000 г. он перешел в компанию Carel на должность руководителя отдела, занимающегося разработкой систем увлажнения. Рауль активно занимается созданием прототипов и разработкой технических спецификаций новых изделий и тесно сотрудничает с главными заказчиками компании Carel, занимающимися производством оборудования, обсуждая с ними вопросы, связанные с индивидуальными техническими условиями. Рауль Симонетти проводит курсы технического обучения и представляет компанию в ведущих торговых ассоциациях, как итальянских, так и зарубежных. Рауль является членом сообщества ASHRAE и активным участником технического комитета по оборудованию для увлажнения воздуха (TC 5.11 – Humidifying Equipment Technical Committee), занимая пост председателя подкомитета.

Микеле Мартелло (Michele Martello) родился в 1971 г. в Косельве, получил образование на факультете электроники университета Падуя. На своем первом месте работы Мишель занимался электронными приборами для перерабатывающей промышленности, в частности в области систем водоснабжения. В 2004 г. он перешел в компанию Carel сначала на должность продукт-менеджера систем увлажнения, а впоследствии стал руководителем подразделения, которое занимается разработкой энергосберегающих систем увлажнения и испарительного охлаждения.

