

И. А. Новосельцев, С. Д. Глухов,
А. С. Штейн, В. Н. Михушкин

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Описаны алгоритмы управления работой холодильной установки системы кондиционирования

E-mail: novoseltsev@daichi.ru

Ключевые слова: комфортные параметры воздуха, алгоритм управления, энергоэффективность.

При проектировании систем кондиционирования воздуха (СКВ) основной задачей является создание системы, которая будет поддерживать комфортными параметры воздуха в помещении (согласно ГОСТ 30494–96 комфортным является следующий диапазон параметров воздуха: температура 20–25 °С, относительная влажность 30–60 %). Но поскольку СКВ является наиболее энергоемкой инженерной системой современного здания — ее энергопотребление составляет 30–50 % от годового (рис. 1) — немалое внимание при проектировании СКВ уделяется ее энергоэффективности.

Повышение энергоэффективности СКВ может быть достигнуто за счет повышения эффективности работы отдельных элементов холодильной машины. Современное высокоточное оборудование позволяет создавать компрессорные машины, производство которых ранее было невозможно, теплообменные аппараты малых габаритных размеров, но имеющих развитые теплообменные поверхности, электродви-

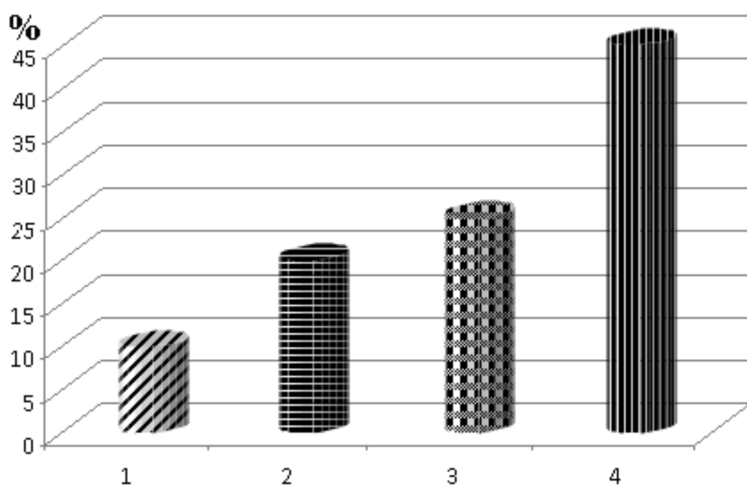


Рис. 1. Распределение энергопотребления здания:

1 — горячее водоснабжение; 2 — офисное оборудование; 3 — освещение; 4 — оборудование вентиляции и кондиционирования

гатели с высокими коэффициентами полезного действия при различных скоростях вращения и многое другое. Вторым путем повышения энергоэффективности является не поэлементное, а комплексное совершенствование системы – оптимизация работы холодильной машины в связи с переменностью условий эксплуатации. Действительно, условия эксплуатации СКВ сильно изменяются при перемене температуры охлаждаемой среды и среды, в которую отводится теплота. Эту задачу решает система управлений. Причем сформулированные для системы управления задачи могут различаться. Выбор способа регулирования зависит прежде всего от того, позволит ли оборудование, управляемое по тому или иному алгоритму, обеспечить требуемые параметры воздуха в помещении в конкретных условиях. Перед системой управления могут быть поставлены следующие цели:

- поддерживать заданную температуру с максимально возможной экономичностью в диапазоне комфортной влажности воздуха;
- поддерживать заданные температуру и влажность воздуха, подаваемого в помещение, независимо от параметров воздуха на входе в испаритель;
- поддерживать параметры воздуха в помещении, управляя температурой в помещении путем изменения температуры подаваемого воздуха, при этом застabilизировав его влагосодержание.

Любая из этих задач, в той или иной мере, направлена одновременно и на энергосбережение. Для обеспечения комфортных параметров воздуха в помещении с максимальной энергоэффективностью используется логика управления, согласно которой регулирование холодопроизводительности происходит за счет изменения температуры кипения холодильного агента. В любой момент времени она поддерживается максимально высокой на таком уровне, чтобы обеспечить потребителя необходимым количеством холода, при этом значение перегрева паров в испарителе поддерживается минимальным (5 °С). Известно, чем выше температура кипения, тем ниже холодопроизводительность, но выше энергоэффективность холодильной машины. Таким образом, при различных тепловых нагрузках установка всегда работает с энергоэффективностью, максимально возможной для данных условий. Почти все современные сплит-системы работают по описанному алгоритму.

В тех случаях, когда приходится иметь дело с системами, подающими в помещение свежий воздух (рис. 2), расход которого зависит от функционального назначения помещения и для каждого помещения рассчитывается отдельно, в качестве регулируемых параметров могут выступать не только параметры воздуха в помещении, но и параметры воздуха на входе в помещение. Воздух, подаваемый в помещение, необходимо охлаждать – это позволит снять часть тепловой нагрузки

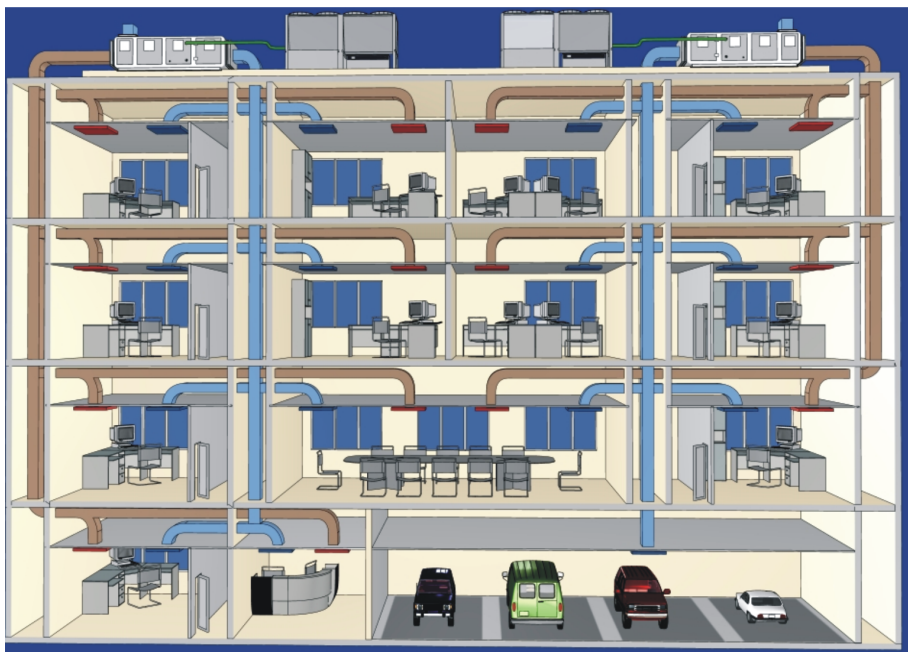


Рис. 2. Типовая схема офисного здания

с внутренними рециркуляционными доводчиками, а в некоторых случаях, при недопустимости осуществления рециркуляции, обеспечить требуемые параметры воздуха в помещении.

Холодильная машина, с помощью которой обрабатывают приточный воздух, может работать по алгоритму с переменной температурой кипения холодильного агента, подобно сплит-системе. Но при обработке приточного воздуха кроме задачи поддержания заданных температур воздуха в помещении или на входе в него возникает задача одновременного поддержания стабильных значений и температуры и относительной влажности воздуха, подаваемого в помещение. Для решения этой задачи следует поддерживать температуру поверхности испарителя постоянной, а значение перегрева паров на выходе из испарителя минимальным. Поддержание минимального значения перегрева паров при таком алгоритме работы позволяет с максимальной эффективностью использовать теплообменную поверхность испарителя. Холодопроизводительность такого кондиционера зависит от параметров воздуха, поступающего на испаритель. Чем выше температура воздуха, тем больше теплоты может отобрать кондиционер благодаря более высокому температурному напору. Повышение влагосодержания обрабатываемого воздуха приводит к росту скрытой составляющей холодопроизводительности. Благодаря постоянной температуре кипения, которая задается на этапе пуско-наладки системы кондиционирования, исключается возможность обмерзания теплообменника, что является

достаточно серьезной проблемой для систем с on/off управлением компрессора. В системах с on/off управлением компрессора температуры кипения и конденсации являются плавающими, и при возрастании тепловой нагрузки на СКВ температура кипения может “проваливаться” в область отрицательных значений, что приводит к образованию снежной шубы на поверхности испарителя.

Постоянной температура кипения холодильного агента поддерживается еще в одном способе регулирования работы кондиционера, но значение перегрева паров в этом случае переменное – это позволяет зафиксировать влагосодержание подаваемого воздуха, а за счет переменного значения перегрева паров на выходе из испарителя можно управлять температурой подаваемого воздуха. С повышением значения перегрева паров холодильного агента в испарителе объем, занимаемый кипящим холодильным агентом, уменьшается, следовательно, снижается холодопроизводительность СКВ (при этом температура воздуха на выходе из кондиционера растет). И наоборот, при уменьшении значения перегрева паров холодопроизводительность растет. При управлении работой холодильной машины по алгоритму с постоянной температурой кипения холодильного агента эффективность будет ниже, чем в случае с переменной температурой кипения, она будет меняться в зависимости от нагрузки и параметров обрабатываемого воздуха.

Но из трех перечисленных алгоритмов управления только использование последнего позволяет создавать большие современные мультизональные системы, в которых осуществляется управление работой несколькими десятками испарителей, находящихся в одном холодильном контуре. В таких системах каждый теплообменник-испаритель (внутренний блок) комплектуется своим многопозиционным расширительным вентилем, который управляет холодопроизводительностью внутреннего блока в зависимости от того, какова разница между заданной и реальной температурами воздуха в помещении.

Однако при проектировании СКВ здания проектировщику придется иметь дело со стандартным оборудованием, которое спроектировано на определенные условия и режимы работы. От него требуется правильно вписать существующую холодильную машину в проект. Изменение температуры наружного воздуха заметно влияет на условия работы холодильной машины. Снижение его температуры приводит к снижению температуры конденсации, что, в свою очередь, при постоянной холодопроизводительности установки приводит к уменьшению работы компрессора. Получается, что для производства того же количества холода, электрическая мощность, потребляемая компрессором,

снижается, а значит эффективность кондиционера растет. На рис. 3 показано влияние температуры наружного воздуха на эффективность бытового кондиционера фирмы Daikin.

Влияние изменения относительной влажности и температуры воздуха в помещении на параметры холодильного контура и его эффективность так же значительно, как и влияние изменения температуры наружного воздуха.

Кондиционер и помещение всегда необходимо рассматривать как единую систему, в которой не только кондиционер влияет на помещение, но и помещение влияет на работу кондиционера. Нагрузкой для холодильной машины является явная теплота, которая отбирается непосредственно от воздуха, что приводит к снижению его температуры, и скрытая теплота, которая выделяется при конденсации паров воды, находящихся в воздухе. В реальных условиях доля тепловой нагрузки кондиционера по влаге может достигать 50 % и более. Это означает, что для корректного выбора кондиционера необходимо обязательно учитывать влажность воздуха в помещении, именно поэтому производители современных СКВ приводят значения холодопроизводительностей оборудования по сухому и влажному термометрам (таблица). Работу проектировщика осложняет тот факт, что характеристики оборудования, представляемые производителем в технической документации, приводятся при фиксированном значении относительной влажности воздуха 50 %.

Если не учитывать влияние относительной влажности, а ориентироваться только на температуру сухого термометра, то можно ошибиться в определении холодопроизводительности на 10–25 %. Относительная влажность воздуха в помещении — величина переменная и зависит как от тепло- и влагопоступлений в помещение, так и от кондиционера. Для того чтобы отобрать одинаковое количество теплоты, разные кондиционеры будут поддерживать разные значения температуры кипения холодильного агента в зависимости от того, какова площадь теплообменной поверхности испарителя. Относительная влажность воздуха в помещении устанавливается в результате равновесия влагопоступлений в помещение и удаления влаги кондиционером. При применении современных кондиционеров, имеющих высокие классы энергоэффективности, ее значение может варьироваться от 35 до 55 %.

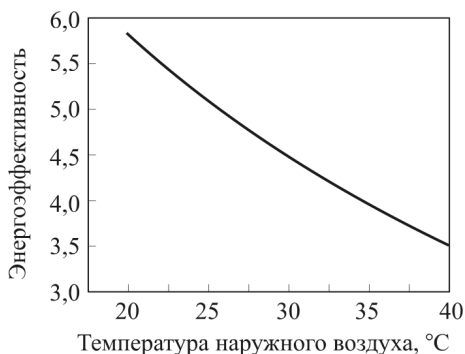


Рис. 3. Влияние температуры наружного воздуха на энергоэффективность кондиционера

Внутри		Температура наружного воздуха, °C																				
		20						25			30			32			35			40		
		TC	SHC	PI	TC	SHC	PI	TC	SHC	PI	TC	SHC	PI	TC	SHC	PI	TC	SHC	PI			
<i>EWB, EDB,</i>	°C																					
14,0	20	250	1,84	0,46	2,44	1,82	0,52	2,33	1,76	0,57	2,28	1,74	0,59	2,21	1,70	0,61	2,10	1,64	0,66			
16,0	22	2,68	1,84	0,48	2,56	1,79	0,52	2,44	1,73	0,57	2,40	1,71	0,59	2,33	1,68	0,62	2,21	1,63	0,66			
18,0	25	2,79	1,93	0,48	2,68	1,88	0,53	2,56	1,82	0,57	2,51	1,80	0,59	2,44	1,77	0,62	2,33	1,72	0,66			
19,0	27	2,85	2,03	0,48	2,73	1,98	0,53	2,62	1,93	0,57	2,57	1,91	0,59	2,50	1,88	0,62	2,38	1,83	0,67			
11,0	30	3,02	1,95	0,49	2,91	1,91	0,53	2,79	1,87	0,58	2,74	1,85	0,60	2,67	1,82	0,62	2,56	1,78	0,67			
24,0	32	3,14	1,90	0,49	3,02	1,86	0,54	2,90	1,82	0,58	2,86	1,81	0,60	2,79	1,78	0,63	2,67	1,74	0,67			

Определить явную холодопроизводительность во всем рабочем диапазоне можно, используя имеющуюся техническую информацию и теоретическую модель, описывающую работу кондиционера.

В настоящей работе мы опирались на теоретические положения, рекомендованные японской корпорацией DAIKIN для анализа технических характеристик кондиционеров, если условия работы отличаются от табличных значений параметров. Принятое при этом единственное допущение можно сформулировать так: при одинаковой полной холодопроизводительности кондиционера независимо от соотношения скрытой и явной теплоты, поступающей на теплообменник внутреннего блока, эффективность испарителя (байпас фактор) остается неизменной.

Математически данное допущение для определения явной производительности при условиях, отличных от 50 %-ной влажности, выражается формулой

$$SHC = SHC_{50} + G * C_p * (1 - BF) * (EDB - EDB_{50}),$$

где SHC_{50} — явная холодопроизводительность при температуре влажного термометра и относительной влажности 50 %, кВт; G — массовый расход воздуха, кг/с; C_p — теплоемкость воздуха, кДж/кг; BF — байпас-фактор; EDB — температура воздуха по сухому термометру, °C; EDB_{50} — температура по сухому термометру при заданной температуре влажного термометра и относительной влажности 50 %, °C.

С данным допущением расчетным путем можно получить характеристики оборудования для всей области рабочих параметров. Для выбранных расчетных условий по наружному воздуху мы представляем зависимости полной и явной холодопроизводительностей кондиционера от относительной влажности воздуха в помещении при заданной постоянной температуре (рис. 4). Как следует из графика, не только явная, но и полная холодопроизводительности кондиционера существенно зависят от относительной влажности воздуха в помещении.

Имея возможность работать с характеристиками кондиционера по всему полю параметров, можно не только достаточно точно подбирать оборудование, но и проверять способность кондиционера обеспечивать расчетный и нерасчетные режимы работы.

Существуют и такие режимы работы оборудования, когда оно работает только по явной теплоте, т.е. конденсация влаги отсутствует. При отсутствии влажностной нагрузки полная холодопроизводительность кондиционера равна явной холодопроизводительности (см. рис. 4) и зависит только от температуры воздуха на входе (изменением теплоемкости воздуха при изменении влажности можно пренебречь). Один из этих режимов работы — работа в технологических помещениях.

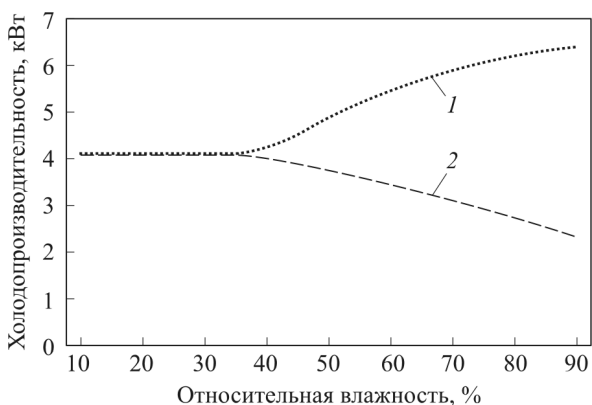


Рис. 4. Влияние относительной влажности воздуха в помещении на полную (1) и явную (2) холодопроизводительности кондиционера

Этот режим можно назвать “вынужденным”, так как в настоящее время кондиционеры, спроектированные для поддержания комфортных параметров воздуха в помещении, часто используются для поддержания температуры воздуха в заданном диапазоне, чтобы обеспечить бесперебойную работу технологического оборудования. Цена такого кондиционера значительно ниже цены прецизионного кондиционера, специально созданного для работы и поддержания параметров воздуха в технологических помещениях (примерами таких объектов могут выступать серверные залы, станции сотовой связи и т.д.). В этих помещениях практически отсутствует влажностная нагрузка, в помещении нет людей и других источников влаги, а влагосодержание наружного воздуха, поступающего в помещение с вентиляцией или инфильтрацией, ниже равновесного с температурой поверхности теплообменника. Условия работы холодильного цикла в технологических помещениях при той же самой поддерживаемой температуре существенно изменяются. В частности, снижается температура кипения холодильного агента (рис. 5), а значит, снижается и энергоэффективность холодильной машины (т.е. происходит удорожание киловатта получаемой холодильной мощности), так как холод вырабатывается на более низком температурном уровне.

Для холодильной машины все режимы с отсутствием конденсации влаги одинаковы. При работе на этих режимах, независимо от относительной влажности воздуха, холодопроизводительность кондиционера и рабочие температуры остаются неизменными.

Еще одним режимом работы оборудования без конденсации влаги является режим работы с высокими температурами кипения (температура поверхности теплообменника выше температуры точки росы воздуха в помещении), при этом влажность в помещении находится в комфортном диапазоне. Безусловно, в этом случае комфортные

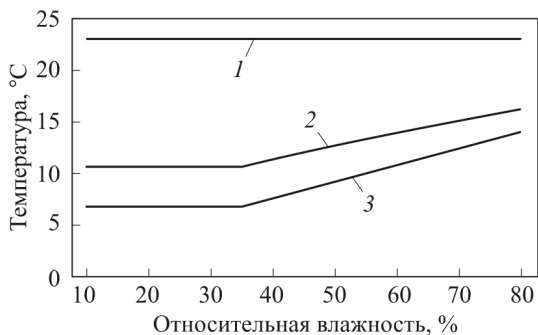


Рис. 5. Влияние относительной влажности воздуха в помещении на температуру кипения холодильного агента в испарителе кондиционера:
 1 и 2 — на входе; 3 — на поверхности

параметры воздуха будут достигаться при более энергоэффективной работе оборудования, так как температура кипения холодильного агента будет высокой и вся вырабатываемая холодопроизводительность будет явной, т.е. холод не будет тратиться на то, чтобы сконденсировать влагу из воздуха. При этом необходимо правильно подобрать теплообменную поверхность испарителя. По сравнению с оборудованием, работающим со стандартными температурами кипения (6–8 °C), оборудование с повышенными температурами кипения должно иметь большую площадь теплообменной поверхности испарителя, так как в этом случае температурные напоры будут ниже. В то же время благодаря более высокой энергоэффективности можно будет использовать компрессорные агрегаты меньшей мощности по сравнению с теми, которые используются в системах той же холодильной мощности, но со стандартными температурами кипения.

В настоящей статье рассмотрены разные способы управления работой кондиционера. Возможность достижения поставленных целей полностью зависит от правильности решения проектировщика применять тот или иной способ управления холодопроизводительностью. Но выбор алгоритма управления возможен только при проектировании холодильных машин, входящих в состав приточно-вытяжных установок. Во всех остальных случаях проектировщик сталкивается с задачей — правильно подобрать оборудование для объекта, тип систем кондиционирования (а значит и логика управления работой, рекомендуемая производителем) для которого заранее определен заказчиком. В этих случаях влияние параметров воздуха как снаружи, так и в помещении на параметры холодильного контура позволит обоснованно подойти к выбору оборудования для нестандартных условий, помещений с повышенными тепло- или влаговыведениями, где традиционные рекомендации приводят к значительным погрешностям.

Статья поступила в редакцию 27.06.2012