



# Сравнение систем кондиционирования воздуха

Э. Я. Кернерман, канд. техн. наук, доцент, otvet@abok.ru

А. И. Мухин, канд. техн. наук, доцент

**Ключевые слова:** воздушная система с переменным расходом воздуха, водо-воздушная система, многозональная система, чиллер, фэнкойл



Выбор оптимальной системы кондиционирования воздуха для общественных зданий представляется сложной и неоднозначной задачей. Это объясняется многообразием возможных схемных решений и трудностями оценки стоимостных и эксплуатационных параметров систем.

В предлагаемой читателям статье приводятся результаты сравнения двух систем: центральной системы с количественно-качественным регулированием и системы «чиллер – фэнкойлы».

Следует отметить, что недостаточное внимание архитекторов к вопросам инженерного оборудования зданий и неоправданное занижение площадей для размещения этого оборудования очень часто исключают саму возможность поиска оптимального решения. Поэтому во многих случаях проектировщик отдает предпочтение одной и той же опробованной системе, не требующей сложных согласований с архитектором. При этом совершенно очевидно, что один тип системы, даже при всей его универсальности, не может быть всегда оптимальным.

В литературе приводятся результаты сопоставлений различных систем кондиционирования воздуха. Однако нам кажется, что публикаций на эту тему совершенно недостаточно и данный вопрос не утратил своей полемичности и актуальности.

Среди большого разнообразия систем центрального кондиционирования наиболее распространенными являются следующие:

- воздушная система с постоянным расходом воздуха CAV;
- воздушная система с переменным расходом воздуха VAV;
- водо-воздушная система VVW (система «чиллер – фэнкойлы»);
- фреоно-воздушная система VRV (мультисистема с наружными и внутренними блоками).

Воздушная система с постоянным расходом воздуха (CAV), на наш взгляд, должна быть исключена из сопоставления, так как имеет строго определенную область применения.

Системы «чиллер – фэнкойлы» (VVW) и мультисистема (VRV) практически идентичны по процессам



обработки воздуха и энергетическим затратам. По капитальным затратам они также не должны сильно отличаться, так как используемое в них оборудование аналогично по функциональным признакам. Поэтому для дальнейшего анализа можно оставить любую из этих систем.

Итак, останавливаемся на сопоставлении центральной системы с количественно-качественным регулированием (VAV) и системы «чиллер – фэнкойлы» (VWV).

## Краткая характеристика сопоставляемых систем

Прежде чем приступить к сопоставлению, уточним различия в работе выбранных систем.

Система VAV является многозональной системой количественно-качественного регулирования. При максимальной потребности в холоде каждая зона обслуживаемых помещений получает от такого центрального кондиционера расчетное количество холодного воздуха с постоянной температурой порядка +16 °С. Зональный доводчик контролирует этот расход. По мере снижения потребности в холоде в данной зоне уменьшается количество подаваемого холодного воздуха, пока эта величина не снизится до санитарной нормы (т. е. осуществляется количественное регулирование).

Поскольку подача воздуха в количестве, соответствующем санитарной норме, является минимально возможной, то в дальнейшем, когда тепловой баланс в зоне становится отрицательным, в работу включается воздухонагреватель зонального доводчика, поддерживая требуемую температуру в помещении за счет догрева подаваемого воздуха (т. е. осуществляется качественное регулирование).

Основной недостаток систем с количественно-качественным регулированием заключается в том, что расчетный расход воздуха по борьбе с теплоизбытками может существенно превышать количество воздуха, определенного по санитарным нормам. Это приводит к необходимости использовать в системе более громоздкое оборудование и воздуховоды.

В отдельных случаях может отсутствовать необходимость догрева подаваемого воздуха, и система будет осуществлять только количественное регулирование. Этот случай аналогичен переходу с четырехтрубной схемы подключения фэнкойлов на двухтрубную схему.

Фэнкойлы устанавливаются в каждом помещении и могут работать в режиме качественного или количественного регулирования. Не следует забывать, что при использовании системы VWV необходима дополнительная установка приточной вентиляции, рассчитанной на подачу в здание свежего воздуха в объеме не ниже санитарной нормы.

Сопоставление систем наиболее правильно производить по приведенным затратам с учетом как капитальных, так и эксплуатационных расходов. Поскольку величина капитальных затрат зависит от множества факторов, в том числе и случайных, мы полагаем, что есть смысл сопоставлять системы по основным эксплуатационным показателям – ежегодным затратам на производство тепла и холода.

Ниже будет показано и оценено основное преимущество системы с количественно-качественным регулированием, а именно возможность при определенных параметрах наружного климата резко уменьшить или даже довести до нуля потребность в использовании искусственного холода, а также тепла.

## Сравнение величины холодопотребления в течение года

Для получения наглядных результатов в качестве примера был выбран конкретный многоэтажный торгово-развлекательный центр, находящийся на стадии проектирования. Здание имеет суммарную площадь более 65 000 м<sup>2</sup> и характеризуется значительными теплоизбытками в теплый период года. В холодный период года теплоизбытки уменьшаются, но при полной загрузке здания могут достигать 50% от летней величины. Район строительства – Новосибирск.

Процесс обработки воздуха в центральном кондиционере для расчетного режима теплого периода года выглядит следующим образом. Наружный воздух в минимальном количестве по санитарной норме проходит через теплоутилизатор, частично охлаждается, затем смешивается с рециркуляционным воздухом, охлаждается в воздухоохладителе до необходимой температуры (порядка +15 °С), нагревается в вентиляторе на один градус и подается в помещение.

Отличие процесса обработки воздуха в системе «чиллер – фэнкойлы» заключается в том, что охлаждение воздуха осуществляется децентрализованно.



Нагрузки по холоду в обеих системах в расчетный теплый период одинаковы, однако очевидно, что эффективность систем определяется не только и не столько величиной расчетных нагрузок, а суммарными годовыми затратами тепла и холода.

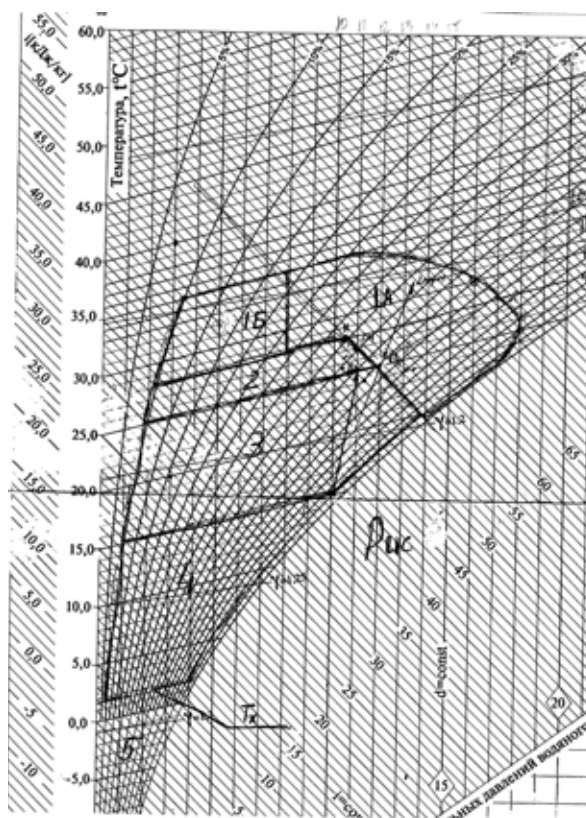
По мере отклонения фактических параметров наружного воздуха от расчетных, изменение нагрузок в сопоставляемых схемах происходит совершенно по-разному. Чтобы проанализировать эти изменения, разделим всю область наружного климата на зоны (рис.).

**Зона 1** – температура или теплосодержание наружного воздуха выше расчетных параметров теплового периода.

Процесс обработки воздуха совпадает с описанным выше процессом для расчетного режима. Очевидно, что в этой зоне требуемые затраты холода превышают расчетные. Если система кондиционирования не запроектирована с запасом по холодопроизводительности, то в этой зоне параметры воздуха в помещении будут отклоняться от расчетных (повышается температура в помещении).

Для определения суммарных затрат холода для каждой из зон необходимо воспользоваться климатологическими данными повторяемости сочетаний параметров наружного воздуха (температуры и влажности) для конкретного места строительства. Для Новосибирска мы использовали опубликованные данные Р. Н. Давыдова [1], приняв за основу односменную работу помещений здания.

Продолжительность стояния параметров наружного климата для Новосибирска в пределах



зоны 1 (температура наружного воздуха выше +28 °С) составляет 204 ч.

Затраты холода для обеих систем одинаковы и составляют в нашем примере 762 960 кВт·ч (табл.).

**Зона 2** располагается между изотермами расчетной температуры наружного воздуха и температуры помещения (+23...+25 °С). Справа эта зона

Сравнение расходов тепла и холода в системах кондиционирования воздуха (односменная работа), кВт·ч

Зона наружного климата	Температурные границы зоны (для условий Новосибирска)	Длительность стояния параметров наружного климата, ч	Центральный кондиционер	Система «чиллер – фэнкойл»	Отношение расходов
Теплый период года					
Зона 1	Выше +28 °С	204,0	762 960	762 960	1,00
Зона 2	+25...+28 °С	112,7	340 522	340 522	1,00
Зона 3	+15...+25 °С	758,5	1 049 850	1 819 659	1,73
Зона 4	-15...+15 °С	2 112,0	–	2 725 929	–
Зона 5	-39...-15 °С	464,6	–	481 450	–
Итого за год		3 651,8	2 153 332	6 130 520	2,85
Холодный период года					
Расчетный расход тепла	-	-	1 531	2 513	1,64
Итого за год	-	-	171 077	1 677 976	9,80

---

ограничена линией расчетного теплосодержания наружного воздуха.

Процесс обработки воздуха не меняется по сравнению с зоной 1 для обеих сопоставляемых схем. Продолжительность стояния параметров в пределах зоны 2 составляет 112,7 ч. Часовое потребление холода будет меньше, чем в первой зоне, так как температура наружного воздуха ниже. Затраты холода для обеих систем одинаковы (табл.).

**Зона 3** расположена между изотермами температуры помещения и температуры за воздухоохладителем (+15 °С). Справа зона ограничена линиями расчетного теплосодержания наружного воздуха и относительной влажности 95%. Продолжительность стояния температур в этой зоне составляет 758,5 ч.

Процессы обработки воздуха для рассматриваемых систем отличаются:

а). Система с центральным кондиционером: поскольку температура наружного воздуха ниже температуры помещения, система переключается с режима подачи минимального количества наружного воздуха на режим 100% подачи наружного воздуха. При этом значительная часть теплоизбытков помещения поглощается этим воздухом.

б). Система «чиллер – фэнкойлы»: количество приточного воздуха остается все время на уровне санитарной нормы, т. е. минимальным, поэтому количество холода, вносимого этим воздухом, существенно ниже, чем в центральном кондиционере. Соответственно, существенно возрастают затраты холода (табл.).

**Зона 4** располагается ниже изотермы воздухоохладителя; нижняя граница этой зоны проходит по изотерме, которая определяется из условия обеспечения процесса обработки приточного воздуха без использования воздухонагревателей. Для этого используется уравнение теплового баланса смеси, состоящей из минимального количества наружного воздуха и максимального – рециркуляционного. В нашем случае эта температура равна –15 °С. Продолжительность стояния температур в этой зоне 2 112 ч.

а). Система с центральным кондиционером: на верхней границе зоны в помещение подается 100% наружного воздуха, а затем расход наружного воздуха постепенно уменьшается, пока не достигнет минимальной величины, т. е. саннормы, а количество рециркуляционного воздуха увеличивается от нуля до максимума.



Постепенное уменьшение количества наружного воздуха осуществляется из условия постоянного поддержания температуры смеси равной расчетной температуре за воздухоохладителем. При этом, естественно, не расходуется ни холод, ни теплота на обработку подаваемого в помещение воздуха.

Итак, в диапазоне наружного климата от +15 до  $-15^{\circ}\text{C}$  в системе с количественно-качественным регулированием нет затрат ни тепла, ни холода.

б). Система «чиллер – фэнкойлы»: поскольку количество наружного воздуха в этой системе всегда находится на минимальном уровне, то количество холода, вносимое наружным воздухом, может оставаться недостаточным для борьбы с избыточным теплом в помещении до тех пор, пока теплоизбытки существенно не уменьшатся, поэтому при использовании данной схемы в зоне 4 по-прежнему расходуется холод.

Приточный воздух должен подаваться в помещение с температурой не ниже  $+16^{\circ}\text{C}$ . Это значит, что при использовании данной системы наружный воздух в зоне 4 должен предварительно нагреваться в воздухонагревателе приточной установки до температуры  $+15^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, в этой зоне при использовании фэнкойлов одновременно тратится теплота на нагрев приточного воздуха и холод для снятия теплоизбытков в помещении.

Суммарные затраты холода в четвертой зоне для системы «чиллер – фэнкойлы» составляют в нашем примере 2 725 929 кВт.ч (табл.).

**Зона 5** в нашем примере располагается ниже расчетной изотермы  $-15^{\circ}\text{C}$  до изотермы расчетной температуры наружного воздуха холодного периода ( $-39^{\circ}\text{C}$  для Новосибирска). Продолжительность стояния температур для этой зоны 464,6 ч. Затраты холода в этой зоне также существуют только для системы «чиллер – фэнкойлы» и составляют 481 450 кВт.ч (табл.).

Сравнение двух выбранных систем по общему годовому расходу холода показывает, что для системы центрального кондиционирования с количественно-качественным регулированием суммарный расход (зоны 1, 2 и 3) составляет 2 153 332 кВт.ч, а в системе «чиллер – фэнкойлы» (зоны 1, 2, 3, 4 и 5) – 6 130 520 кВт.ч.

Годовые затраты холода при использовании системы «чиллер – фэнкойлы» почти втрое (в 2,85 раза) превышают аналогичные затраты в центральной системе кондиционирования с количественно-качественным регулированием.

## Сравнение затрат теплоты на нагрев наружного воздуха

### 1. Расчетная нагрузка по теплу

а). В системе центрального кондиционирования в расчетном холодном режиме обработка приточного воздуха происходит в следующей последовательности: наружный воздух в объеме санитарной нормы с расчетной температурой ( $-39^{\circ}\text{C}$ ) нагревается в теплоутилизаторе, смешивается с максимальным количеством рециркуляционного воздуха и поступает в воздухонагреватель, где доводится до температуры  $+15^{\circ}\text{C}$ . Затем воздух вентилятором подается в помещение. Ассимилируя теплоизбытки, воздух нагревается до температуры помещения. Часть воздуха удаляется, а часть возвращается на рециркуляцию. Расчетный расход тепла составляет для рассматриваемого примера 1 531 кВт.

б). В системе «чиллер – фэнкойлы» расчетный расход тепла для прямооточной приточной установки с теплоутилизатором определяется из условия нагрева приточного воздуха от температуры на выходе из утилизатора до  $+15^{\circ}\text{C}$  и составляет 2 513 кВт.

### 2. Определение годовых затрат на нагрев приточного воздуха

а). Система центрального кондиционирования.

Как уже отмечалось ранее, теплота на нагрев наружного воздуха в данной системе начинает расходоваться только при температуре наружного воздуха ниже значения, определяемого из уравнения теплового баланса смеси наружного и рециркуляционного воздуха ( $-15^{\circ}\text{C}$  в нашем примере). Суммарный расход теплоты за год составляет 1 710 777 кВт.ч.

б). Система «чиллер – фэнкойлы».

При применении фэнкойлов потребность в нагреве наружного воздуха в приточной установке наступает в тот момент, когда теплоутилизатор уже не может нагревать наружный воздух до температуры  $+15^{\circ}\text{C}$ . Соответствующая этому режиму температура наружного воздуха может быть легко рассчитана. Суммарный расход теплоты за год для данной системы в нашем примере составляет 1 677 976 кВт.ч.

## Анализ полученных результатов

1. Расход холода в расчетный теплый период года одинаков для обоих сопоставляемых вариантов систем кондиционирования воздуха и составляет для данного примера 3 740 кВт.



2. Годовые затраты холода для системы «чиллер – фэнкойлы» почти в три раза превышают аналогичные затраты холода в центральной системе с количественно-качественным регулированием.

3. Холодильное оборудование системы «чиллер – фэнкойлы» вынуждено работать круглогодично, в то время как в центральном кондиционере холодильное оборудование включается в работу только в теплый период года при температуре наружного воздуха выше +15 °С

4. Расчетный расход тепла в центральной системе составляет 60 % от расхода системы «чиллер – фэнкойлы».

5. Годовые затраты тепла в системе «чиллер – фэнкойлы» почти в десять раз превышают аналогичные затраты центральной системы кондиционирования воздуха.

## Выводы

При значительных тепловых избытках в здании система центрального кондиционирования с количественно-качественным регулированием (VAV) существенно эффективнее системы «чиллер – фэнкойлы» (VWV), так как позволяет обеспечить

экономии холода в течение года и тепла в холодный период года.

Кроме того, существенным преимуществом первой системы является тот факт, что холодильная установка используется только в теплый период года при температуре наружного воздуха выше +15 °С. При использовании же системы «чиллер – фэнкойлы» необходимо эксплуатировать холодильную установку круглогодично, что значительно усложняет ее обслуживание и увеличивает износ оборудования.

Отрицательный эффект от применения системы «чиллер – фэнкойлы» может быть несколько сглажен за счет дополнительной установки системы фрикулинга (free cooling). Это позволяет сократить продолжительность работы чиллера в течение холодного периода года. Однако затраты холода могут быть сокращены при этом только на 15–18 %. К тому же, установка фрикулинга дополнительно усложняет систему охлаждения.

## Литература

1. Давыдов Р. Н. Диаграмма наружного воздуха для г. Новосибирска. Наладка и проектирование