



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

энергопотребление, системы кондиционирования, температура наружного воздуха, коэффициент рабочего времени, режим охлаждения, режим отопления, рекуперация воздуха, комфортное воздухораспределение

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНДИЦИОНЕРОВ

В. П. Харитонов, доктор техн. наук, профессор (Москва)

Показатели энергоэффективности кондиционируемого здания могут быть улучшены в результате правильной эксплуатации кондиционеров, их регулярного технического обслуживания, а также путем интегрирования систем кондиционирования в системы отопления зданий.

Кондиционеры на базе компрессионных холодильных машин относятся к классу потребителей электроэнергии, номинальная мощность которых прописана в паспортных данных. Казалось бы, проблема энергосбережения и применение кондиционеров не связаны между собой. Однако почему порой счета на электроэнергию превышают ожидаемые? Причин несколько.

Паровая компрессионная холодильная машина

Сплиты и системы кондиционирования типа VRF/VRT/VRV (далее – VRF), бытовые холодильники и морозильные шкафы, льдогенераторы и осушители воздуха, авторефрижераторы, суда-рефрижераторы и поезда-рефрижераторы, холодильные машины производственных и распределительных холодильников, торговое холодильное оборудование, снеговые пушки, системы ледовых дворцов и хоккейных полей – это одно семейство родственных изделий холодильной техники. Основой всех этих технических чудес является паровая компрессионная холодильная машина, реализующая обратный цикл Карно и состоящая всего из четырех обязательных элементов: компрессор, конденсатор, испаритель и регулятор расхода. Данные элементы соединены трубопроводами в замкнутую герметичную систему, заполненную холодильным агентом (фреоны (хладоны), аммиак и многие другие вещества). Все остальные элементы даже самой сложной холодильной системы (ресиверы, маслоотделители, теплообменники, градирни, вентиляторы, клапаны, приборы автоматики и пр.) являются всего лишь вспомогательными устройствами.

Современные кондиционеры (сплиты и системы VRF) могут работать в режиме охлаждения, отопления и даже в смешанном режиме: часть внутренних блоков охлаждает помещения, а часть находится в режиме ожидания либо обогревает другие помещения.

Энергетическая эффективность кондиционеров и температура наружного воздуха

К сожалению, работоспособность и энергетическая эффективность всех без исключения кондиционеров, реализующих обратный цикл Карно, принципиально зависят от температур внутреннего и наружного воздуха. Поскольку желаемые параметры (температура и относительная влажность) внутреннего воздуха лежат в сравнительно узких пределах, практически единственным параметром, определяющим работоспособность и энергоэффективность кондиционера, оказывается температура наружного воздуха.

Однако во многих регионах нашей страны температура наружного воздуха изменяется в широком диапазоне в зависимости от времени года. Эта зависимость настолько значима, что порой исключает возможность круглогодичной работы кондиционера в некоторых климатических районах либо делает использование кондиционеров экономически нецелесообразным.

Для всех фирм – производителей систем кондиционирования, созданных на основе паровой компрессионной холодильной машины, проблемы эксплуатации и энергетической эффективности данного оборудования одинаковы. Одинаковы и способы их решения.

Режим охлаждения

Охлаждение воздуха – основной режим работы кондиционера. Фирмы-производители гарантируют надежный запуск и работу кондиционеров в режиме охлаждения

помещений при температуре наружного воздуха от 46 до –20 °С без каких-либо дополнительных мероприятий. Но для нашей страны этот диапазон рабочих температур недостаточно широк: полюс холода в нашей стране находится в Якутии в селении Оймякон (зарегистрирована температура –71,1 °С в 1964 году). Проблема была преодолена благодаря работе российских специалистов, которые даже предложили несколько способов решения [1, 2].

Кондиционеры работают циклично. Отношение длительности работы к общей длительности цикла называют коэффициентом рабочего времени. Как правило, мощность кондиционера подбирают так, чтобы коэффициент рабочего времени при нормируемых параметрах внутреннего и наружного воздуха лежал в пределах 0,50–0,75. Для инверторных кондиционеров коэффициент рабочего времени почти всегда равен 1, что означает непрерывную работу компрессора. Но частота вращения вала компрессора и потребляемая мощность плавно изменяются в соответствии с требуемой холодо- и теплопроизводительностью.

Если кондиционер работает без остановки и с перерасходом электроэнергии, то либо на улице аномальная жара, либо одна из следующих субъективных причин:

Настройка пульта. Комфортной или оптимальной температурой для взрослого человека иногда считают ночью 16–18 °С и днем до 22 °С (для детей на 1–2° выше). Однако нельзя забывать про относительную влажность воздуха и температуру воздуха снаружи. Если на улице свыше 30 °С, то, как показывает практика, разность между температурой снаружи и в помещении не должна превышать 7–10 °С. Изменяя настройку пульта вслед за повышением температуры наружного воздуха (повышая настройку), мы не только улучшаем комфортность, но также снижаем энергопотребление.

Проветривание. Если работает кондиционер, то проветривание допускается в крайне ограниченном контролируемом виде: либо кратковременное открытие окон, либо приоткрытая форточка. При открытых настежь окнах работать кондиционер, конечно, будет, но с неоправданно большим расходом энергии.





Владислав Петрович Харитонов, профессор, доктор технических наук, за время своей деятельности опубликовал 133 научных труда в области механики жидкости и газа, холодильных машин, отопления, вентиляции и кондиционирования, а также имеет 36 авторских свидетельств и патентов. Награжден тремя серебряными медалями ВДНХ СССР за лучшие образцы учебного оборудования.

Краткая справка о деятельности. В 1960 году с отличием закончил МВТУ им. Н. Э. Баумана по специальности «Холодильные и компрессорные машины и установки», а в 1967 году с отличием – МГУ им. М. В. Ломоносова по специальности «Математика». С 1962 года – ответственный исполнитель закрытого (секретного) правительственного Межведомственного проекта «Холод-Альфа», успешно завершено испытаниями двух опытных образцов в 1966 году. С 1967 по 1986 год преподавал в МИНХ им. Г. В. Плеханова, заведовал кафедрой торгового и холодильного оборудования. Был директором ВНИКТИхолодпрома (ВНИХИ). В 1987–2014 годах – профессор кафедры «Гидромеханика, гидромашин и гидропневмоавтоматика» МГТУ им. Н. Э. Баумана, лектор по курсу «Механика жидкости и газа». В настоящее время – независимый эксперт.

ного оборудования. Был директором ВНИКТИхолодпрома (ВНИХИ). В 1987–2014 годах – профессор кафедры «Гидромеханика, гидромашин и гидропневмоавтоматика» МГТУ им. Н. Э. Баумана, лектор по курсу «Механика жидкости и газа». В настоящее время – независимый эксперт.

Солнечная радиация. Если наружный блок кондиционера подвергается воздействию прямой солнечной радиации, то все его компоненты (конденсатор, компрессор, вентилятор и пр.) могут нагреться до критических температур, которые указаны в паспорте кондиционера в графе «рабочий диапазон температур» (например, 45 °С). Каждый электродвигатель имеет свой класс изоляции обмоток и перегрузочную способность. Эксплуатация кондиционера в экстремальных условиях либо невозможна (кондиционер выключается), либо нецелесообразна из-за высокого энергопотребления и низкой холодопроизводительности.

Даже если нагрев наружного блока от солнца не катастрофичен, энергетические характеристики работы кондиционера в значительной степени ухудшаются: чем выше температура, тем ниже энергетическая эффективность кондиционера. Если нет возможности монтировать наружный блок кондиционера на северной стороне дома, то рекомендуется установить солнцезащитное укрытие (в простейшем случае – козырек над наружным блоком).

«Войлочное» загрязнение конденсатора и испарителя. Загрязнению подвержены и внутренний, и наружный блоки. И то и другое оказывает отрицательное влияние на

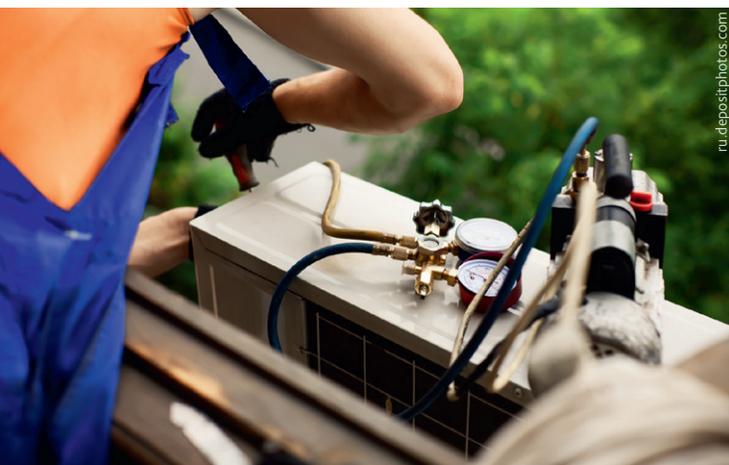
энергетическую эффективность кондиционера. Дело в том, что при полностью забитой оребренной поверхности конденсатора эффективность охлаждения конденсатора кондиционера наружным воздухом снижается в 5–6 раз при снижении скорости воздуха от расчетной до фактической. Аналогичное влияние на работу кондиционера оказывает и загрязнение фильтра внутреннего блока. Обнаружить эту неисправность кондиционера легко, достаточно провести внешний осмотр наружного блока и съемного фильтра внутреннего блока. Регулярная очистка теплопередающих поверхностей и фильтров – верный способ уменьшить энергопотребление.

Ветровое воздействие. Поток воздуха сквозь оребренные трубы наружного теплообменника возникает с помощью низконапорных осевых вентиляторов. Сильный ветер может замедлить вращение крыльчатки вентилятора и даже радикально уменьшить скорость и равномерность движения воздуха внутри наружного блока. И как уже было упомянуто, это приводит к сверхнормативному расходу электроэнергии.

Защита от ветра может быть выполнена разными способами, одна из рекомендаций фирмы-изготовителя – установка антиветровой конструкции – соразмерного щита перед наружным блоком.

Давление конденсации. Энергоэффективность кондиционера оценивают в режиме охлаждения отношением холодопроизводительности к потребляемой мощности: EER (Energy Efficiency Ratio). Чем выше данный показатель, тем меньше расходуется электроэнергии при одной и той же нагрузке. EER очень сильно зависит от значений температур внутреннего и наружного воздуха.

Например, при снижении температуры на улице с 35 до 20 °С и при неизменной температуре внутри помещения (например, 27 °С) показатель EER возрастает более чем в 4 раза! Эта тенденция постоянна: чем ниже температура наружного воздуха, тем выше энергоэффективность кондиционера.





РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК 5.4.1–2020 «РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ГИБРИДНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ»

Р НП АВОК 5.4.1–2020



РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

**РАСЧЕТ
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РЕГУЛИРУЕМОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ
И ГИБРИДНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ
В МНОГОЭТАЖНЫХ
ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

ISBN 978-5-90527-060-8

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
«Инженеры по отоплению, вентиляции,
кондиционированию воздуха, теплоснабжению
и строительной теплофизике» (НП «АВОК») www.abok.ru

Рекомендации представляют собой инструмент, позволяющий проектировщику решить задачи аэродинамического расчета системы естественной и гибридной регулируемой вентиляции, подбора оборудования, расчета энергопотребления и определения потенциала энергосбережения при применении указанных систем по сравнению с системами нерегулируемой вентиляции.

В рекомендациях приведены различные схемы организации регулируемой естественной и гибридной вентиляции в многоэтажных жилых домах. Приведено описание гибридной вентиляции с низконапорными вентиляторами, устанавливаемыми на оголовки вентиляционного канала, эжекторных систем, систем со статодинамическими дефлекторами. Приводятся требования к материалам и оборудованию – приточным и вытяжным устройствам, переточным устройствам, вентиляторам, воздуховодам, надплитным зонтам. Приведены примеры технических решений, учитывающих переменные расходы воздуха.

Однако рабочий диапазон кондиционеров в режиме охлаждения ограничен для лучших систем кондиционирования температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дело в том, что при низких отрицательных температурах наружного воздуха давление конденсации паров наиболее распространенных хладагентов становится ниже давления кипения и нормальный процесс циркуляции хладагента нарушается.

В последние годы широкое распространение получила технология «Полюс»: наружный блок размещают в контейнере с автоматическими жалюзи, что позволяет поддерживать температуру внутри контейнера (вокруг наружного блока) на требуемом уровне. Специалисты знают, как для конкретной гидравлической схемы системы кондиционирования подсчитать минимально допустимое давление и температуру конденсации. Теперь достаточно настроить автоматику «Полюса» на вычисленную температуру, и максимально эффективная работа кондиционера в режиме охлаждения в зимнее время гарантирована.

Узкие границы рабочего диапазона. Тепловая мощность, отводимая наружным блоком в окружающую среду, в несколько раз превышает потребляемую электрическую мощность. Вся суммарная энергия теряется безвозвратно. Однако технология «Полюс» позволяет использовать часть этой энергии для обогрева пространства вокруг наружного блока. Благодаря этому существенно (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) расширяется рабочий диапазон за счет автоматического поддержания заданной оптимальной температуры вокруг наружного блока в течение его работы.

Режим отопления

Работа кондиционера в режиме отопления – это великолепный пример энергосберегающих технологий. При этом на $1\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ затраченной электроэнергии кондиционер выделяет в отапливаемом помещении в несколько раз больше тепловой энергии, забирая ее снаружи из окружающей среды, охлаждая наружный воздух. Перевод кондиционера в режим отопления осуществляется простым переключателем «тепло/холод».

Для сохранения высокой энергоэффективности кондиционера в режиме отопления требуется избегать уже перечисленных ошибок:

- при настройке пульта установите температуру на приемлемом самом низком значении, например $18\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- проветривание сократите до минимума;
- солнечная радиация приветствуется, поэтому, если установлен солнцезащитный экран, – уберите его;
- во избежание «войлочного» загрязнения особенно важен регулярный контроль и очистка теплопередающих поверхностей наружного и внутренних блоков;
- ветровая защита еще более важна, чем в режиме охлаждения.

Главная особенность эксплуатации современных кондиционеров в режиме отопления – диапазон рабочих температур очень узок и не может быть расширен.

Так, при понижении температуры наружного воздуха до $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда центральное отопление еще не вклю-

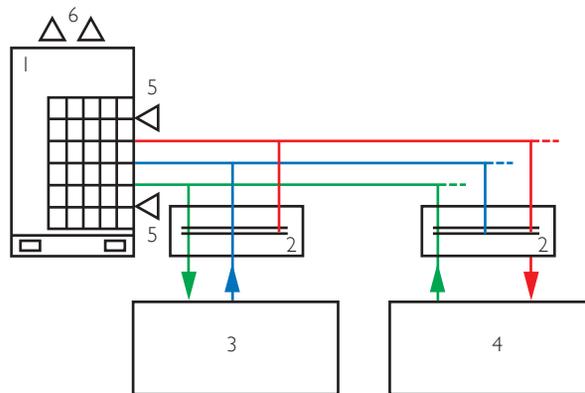
чено, а отопление в доме уже крайне желательно, использование кондиционера в режиме отопления в 8 раз выгоднее электрорадиаторов! Однако при похолодании до отрицательных температур это преимущество резко снижается: при температуре наружного воздуха $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ кондиционер лишь в 2 раза выгоднее непосредственного электроотопления.

Но даже это преимущество нивелируется особенностями эксплуатации кондиционеров при отрицательных температурах в режиме отопления: неизбежное непрерывное обмерзание испарителя кондиционера требует его частого оттаивания переключением в режим охлаждения, необходимо дополнительное оснащение наружного блока дренажным обогреваемым поддоном, системой отвода талой воды. Снижается коэффициент рабочего времени, и экономическая эффективность кондиционера в режиме отопления уменьшается до критического уровня: проще и дешевле использовать для отопления квартиры электрические обогреватели.

Термодинамические основы работы кондиционера в режиме отопления объясняют рекомендации использовать его исключительно при положительных температурах наружного воздуха, а точнее при температурах наружного воздуха не ниже $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этом случае оснащать наружный блок дополнительным оборудованием не требуется, прогрессирующего обмерзания испарителя не наблюдается, а энергосбережение характеризуется удивительно высокими цифрами.

Режим рекуперации

Уникальные технологии и возможности энергосбережения демонстрируют современные трехтрубные мультизональные системы кондиционирования типа VRF. Принципи-



- 1 – наружный блок
- 2 – блоки BS, или распределительные блоки
- 3 и 4 – внутренние блоки
- 5 – вход наружного воздуха
- 6 – выход наружного воздуха.

- хладагентопровод для горячего хладагента высокого давления,
- хладагентопровод низкого давления,
- хладагентопровод для жидкого хладагента высокого давления

Рис. Усовершенствованная схема трехтрубной мультизональной системы кондиционирования типа VRF

альная схема такого кондиционера отличается от обычной мульти-сплит-системы немногим. В схеме (рис.) трехтрубной системы к наружному блоку (1) и внутренним блокам (3) и (4) добавлены принципиально новые для кондиционеров устройства: два блока BS (2), или распределительных блока (распределители потоков), которые переключают внутренние блоки в нужный режим путем коммутации подключенных хладопроводов: для горячего газообразного хладагента высокого давления, для газообразного хладагента низкого давления, для жидкого хладагента высокого давления, а также вход (5) и выход (6) наружного воздуха.

Максимально возможный энергетический эффект при работе трехтрубной VRF: тепло, отводимое из перегретых помещений, и тепло, эквивалентное потребляемой компрессором и вентилятором электроэнергии, полностью переходит транзитом в отапливаемые помещения! Для максимальной энергоэффективности трехтрубной VRF достаточно, чтобы суммарная теплопроизводительность внутренних блоков, работающих в режиме отопления, была примерно равна требуемой холодопроизводительности всех внутренних блоков, работающих в режиме охлаждения.

На практике такое распределение нагрузки на систему кондиционирования случается крайне редко и на непродолжительное время, но и в меньших размерах рекуперация тепла в трехтрубных системах оказывается рентабельной, и популярность систем с рекуперацией растет. К тому же одним из достоинств трехтрубных систем считают возможность выбирать режимы работы внутренних блоков одной системы в любом из помещений по желанию персонала.

Совместная работа систем отопления и систем кондиционирования

В переходные периоды, в межсезонье, а порой и круглогодично в крупных современных административных зданиях, к примеру в офисах IT-компаний или банков, одновременно работают системы кондиционирования и системы отопления. Все системы автоматизированы, оснащены датчиками температуры и регулирующими устройствами.

И радиаторы отопления необходимы, и внутренние блоки кондиционеров имеют ряд достоинств: они более равномерно распределены по помещениям, чем отопительные приборы, и являются важным элементом комфортного воздухораспределения и более точного регулирования температуры. В идеале мы получаем максимальный положительный эффект: экономию тепловой энергии и электроэнергии при достижении индивидуального комфорта на каждом рабочем месте.

Но есть и проблемы: инверторные системы кондиционирования обеспечивают плавное (пропорциональное) регулирование, в то время как радиаторы отопления, как правило, работают по принципу «вкл./выкл.». Настройка автоматики обеих систем в переходный период – кропотливое дело и необходимое условие успеха. В противном случае не исключено энергозатратное функционирование в «противофазе» обеих систем: в одном и том же помещении одновременно работают радиаторы отопления (на нагрев) и внутренние блоки кондиционеров (на охлаждение).



Энергосбережение при интеграции кондиционеров в системы отопления

Кондиционеры называют тепловыми насосами, по аналогии с водяными насосами. Аналогия эта очень глубокая. Кондиционеры в любом режиме работы «перекачивают» тепло из одного теплового бассейна в другой: например, от наружного воздуха в помещение, или наоборот, или из одного помещения в другое. В последнем варианте вся энергия, участвующая в процессе работы кондиционера (и потребляемая электроэнергия, и перекачиваемое тепло), остается внутри здания.

Идея заменить системами кондиционирования систему водяного отопления не нова [3, 4]. В этом варианте традиционная система водяного отопления здания (как основная) отсутствует, отопительный котел отапливает «банк тепла» – специальное помещение, где размещены наружные блоки кондиционеров и куда дополнительно поступают все теплоизбытки, выделяемые, например, электронными устройствами, электрооборудованием и другими источниками тепла внутри здания. А трехтрубные (а также двухтрубные) системы кондиционирования распределяют это тепло по помещениям и пополняют «банк тепла» за счет внутренних теплоизбытков.

Поскольку внутренняя температура в помещении «банка тепла» автоматически поддерживается на оптимальном уровне за счет регулирования мощности котла, нет сомнений в том, что класс энергосбережения A++ реален при проектировании и эксплуатации новых общественных зданий с такой системой отопления в самых холодных регионах страны.

Литература

1. Литвинчук Г. Г. Работа современной сплит-системы в условиях низких температур // Кондиционирование. 1998. № 4. С. 21–33.
2. Харитонов В. П. Обеспечение работоспособности систем кондиционирования воздуха при низких температурах наружного воздуха // АВОК. 2007. № 3. С. 36–47.
3. Харитонов В. П. Энергосберегающая система отопления и кондиционирования для объектов Арктической зоны // Энергосбережение. 2020. № 6. С. 46–51.
4. Харитонов В. П. Способ и устройство отопления и кондиционирования здания. Патент № RU2725127С1, МПК F24D3/18 F24F1/00 F24F7/00, приоритет 2019-04-30. ■