

ZUBADAN – кондиционер или нагревательный прибор?



Компания Mitsubishi Electric успешно завершила полевые испытания систем серии ZUBADAN. На японском языке это обозначает «суперобогрев». Известно, что производительность тепловых насосов, использующих для обогрева помещений низкопотенциальное тепло наружного воздуха, уменьшается при снижении температуры наружного воздуха. И это снижение весьма значительное: при температуре -20°C теплопроизводительность на 40% меньше номинального значения, указанного в спецификациях приборов и измеренного при температуре $+7^{\circ}\text{C}$. Именно по этой причине воздушные тепловые насосы не рассматривают в нашей стране как полноценный нагревательный прибор. Отношение к ним может коренным образом измениться с появлением кондиционеров серии ZUBADAN.

Системы „охлаждение/обогрев” ZUBADAN INVERTER

наружный блок	холодо- / тепло- производительность номинальная, кВт	холодо- / тепло- производительность максимальная, кВт
PUHZ-HRP71VHA	7.1кВт/8.0кВт	8.0кВт/11.2кВт
PUHZ-HRP100VHA	10.0кВт/11.2кВт	11.2кВт/14.2кВт
PUHZ-HRP100YHA	10.0кВт/11.2кВт	11.2кВт/14.2кВт
PUHZ-HRP125YHA	12.5кВт/14.0кВт	14.0кВт/18.2кВт

Обратите внимание на рисунок 1. Графики иллюстрируют изменение теплопроизводительности системы в зависимости от температуры наружного воздуха. Для серии ZUBADAN производительность системы практически не уменьшается до температуры -15°C , сохраняя номинальное значение. И только при более низкой температуре теплопроизводительность начинает уменьшаться, но даже при этом сохраняется явное преимущество над моделями передовой инверторной серии Mr. SLIM POWER INVERTER. На графике хорошо видно, что при температуре наружного воздуха -20°C кондиционер серии ZUBADAN типоразмера 4HP (номинальная теплопроизводительность около 11 кВт) выделяет на 1 кВт больше тепла

в помещение, чем кондиционер серии POWER INVERTER типоразмера 5HP (номинальная теплопроизводительность около 14 кВт). Еще более показательное сравнение моделей одинаковой номинальной производительности (синяя прямая на графике).

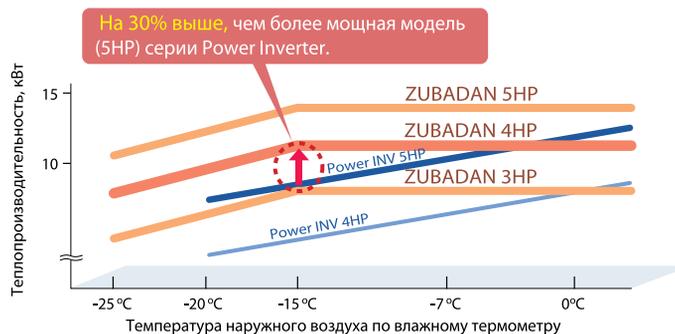
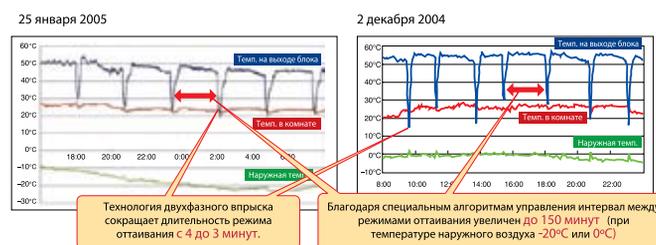


Рис. 1. Сравнение теплопроизводительности систем серий ZUBADAN и POWER INVERTER

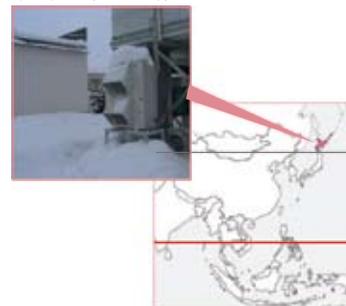
Достигнуты столь выдающиеся результаты благодаря использованию спирального компрессора специальной модификации и технологии двухфазного впрыска хладагента. Гидравлический контур имеет сложную структуру: он оснащен тремя расширительными вентилями с электрическим приводом, которые обеспечивают двухступенчатое дросселирование хладагента и оптимизацию процесса впрыска хладагента в компрессор. Управляющая программа наружного блока регулирует частоту вращения инверторного компрессора, вентилятора наружного теплообменника и степень открытия расширительных вентилях с помощью приводных шаговых электродвигателей. Таким образом, прибор имеет множество степеней свободы и может точно подстроиться под специальные условия эксплуатации. Завод-изготовитель подтверждает работоспособность системы в режиме обогрева при температурах наружного воздуха до -25°C . Но заложенные в основу работы системы методы позволяют функционировать при существенно более низких температурах. Поэтому вполне вероятно, что указанное значение не является строгим ограничением.

Управление режимом оттаивания

Результаты полевых испытаний в г. Асахикива (остров Хоккайдо, Япония)



Пример эксплуатации наружного блока



На рисунке 2 приведен фрагмент записи результатов тестирования полупромышленного кондиционера Mr. SLIM серии ZUBADAN на северном японском острове Хоккайдо. В момент начала записи (16:00) температура наружного воздуха составляла -10°C, при этом температура воздуха на выходе внутреннего блока была около +50°C. Ночью похолодало, температура наружного воздуха понизилась ниже -20°C, при этом температура воздуха, выходящего из внутреннего блока, уменьшилась до +45°C. Важно отметить, что режим оттаивания наружного теплообменника (неизбежный для тепловых насосов) включается 1 раз в 2,5 часа, и его продолжительность составляет всего 3 минуты. В режиме оттаивания температура воздуха на выходе внутреннего блока соответствует комнатной температуре. В обычных системах средняя теплопроизводительность оказывается на 5 – 10% меньше номинального значения, которое дается без учета режима оттаивания. В системах серии ZUBADAN оттаивание несущественно уменьшает среднюю теплопроизводительность. На графике видно, что даже ночью при минимальной температуре снаружи – кондиционер поддерживает в помещении температуру 22 – 23°C.

Другим важным параметром теплового насоса является время выхода на номинальную производительность после первого включения или после окончания очередного режима оттаивания. Чем меньше инерционность и короче переходный процесс, тем выше средняя теплопроизводительность системы и меньше отклонение температуры в помещении от целевого значения. На рисунке 3 показано сравнение системы ZUBADAN с обычной инверторной системой. Температура воздуха, выходящего из внутреннего блока системы ZUBADAN, достигает значения +45°C вдвое быстрее (10 минут), чем инверторная система (19 минут). А после выхода на стабильный режим температура воздуха на выходе системы ZUBADAN достигнет значения +50°C (при температуре наружного воздуха +2°C).

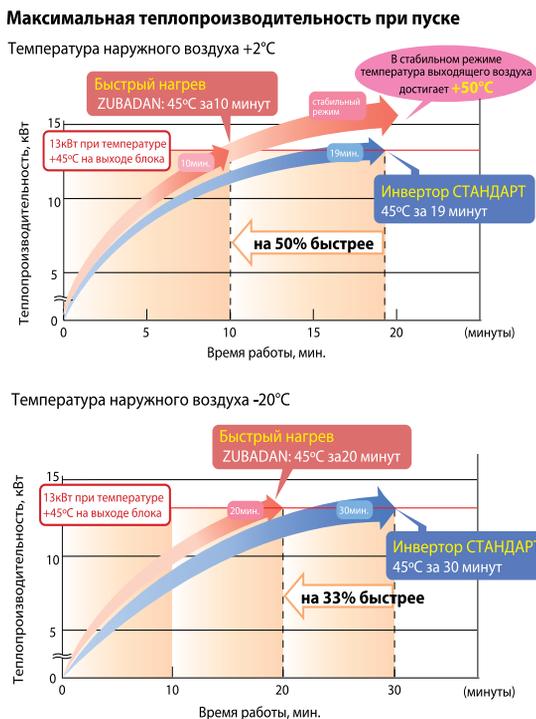


Рис. 3. Время выхода систем на номинальную теплопроизводительность

Как это работает

Традиционным решением задачи увеличения теплопроизводительности системы при низких температурах наружного воздуха является впрыск газообразного хладагента в компрессор. Для этого между конденсатором и испарителем в точке промежуточного давления устанавливается сепаратор «жидкость-газ», верхний вывод которого соединяется со штуцером впрыска в компрессор. В результате количество газообразного хладагента, циркулирующего через конденсатор, увеличивается, и растет теплопроизводительность системы. Однако такие системы отличаются нестабильной работой. Объем впрыска колеблется в зависимости от давления в сепараторе и производительности компрессора, а уровень заполнения отделителя меняется в очень широких пределах: от минимального уровня до полного заполнения жидким хладагентом.

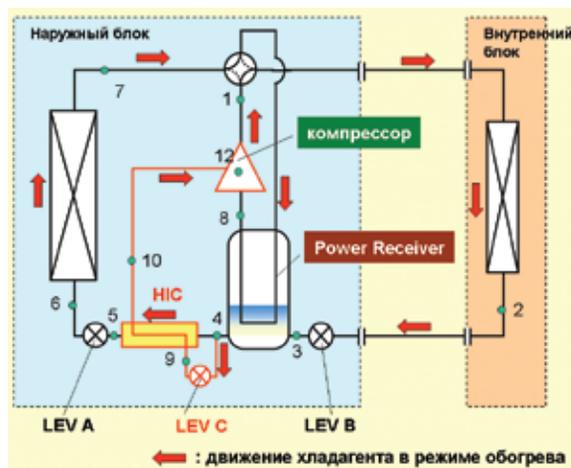


Рис. 4. Схема гидравлического контура системы ZUBADAN

В системах ZUBADAN применяется метод парожидкостной инжекции. В режиме обогрева давление жидкого хладагента, выходящего из конденсатора, роль которого выполняет теплообменник внутреннего блока, немного уменьшается с помощью расширительного вентиля LEV B. Парожидкостная смесь (точка 3 на рисунке 4) поступает в ресивер «Power Receiver». Внутри ресивера проходит линия всасывания, и осуществляется обмен теплотой с газообразным хладагентом низкого давления. За счет этого температура смеси снова понижается (точка 4 на рисунке 4), и жидкость поступает на выход ресивера. Далее некоторое количество жидкого хладагента ответвляется через расширительный вентиль LEV C в цепь инжекции. Часть жидкости испаряется, а температура образующейся смеси понижается. За счет этого охлаждается основной поток жидкого хладагента, проходящий через теплообменник HIC (точка 5 на рисунке 4). После дросселирования с помощью расширительного вентиля LEV A (точка 6 на рисунке 4) смесь жидкого хладагента и образовавшегося в процессе понижения давления пара поступает в испаритель, то есть теплообменник наружного блока. За счет низкой температуры испарения тепло передается от наружного воздуха к хладагенту, и жидкая фаза в смеси полностью испаряется (точка 7 на рисунке 4). Проходя через трубу низкого давления в ресивере «Power Receiver», перегрев газообразного хладагента увеличивается, и он поступает в компрессор. Кроме того, этот ресивер сглаживает колебания промежуточного давления при флуктуациях внешней тепловой нагрузки, а также гарантирует подачу на расши-

рительный вентиль цепи инъекции только жидкого хладагента, что стабилизирует работу этой цепи.

Часть жидкого хладагента, ответственная от основного потока в цепь инъекции, превращается в парожидкостную смесь среднего давления. При этом температура смеси понижается, и она подается через специальный штуцер инъекции в компрессор. В верхней неподвижной спирали компрессора предусмотрены отверстия для впрыска хладагента на промежуточном этапе сжатия (рисунок 5).

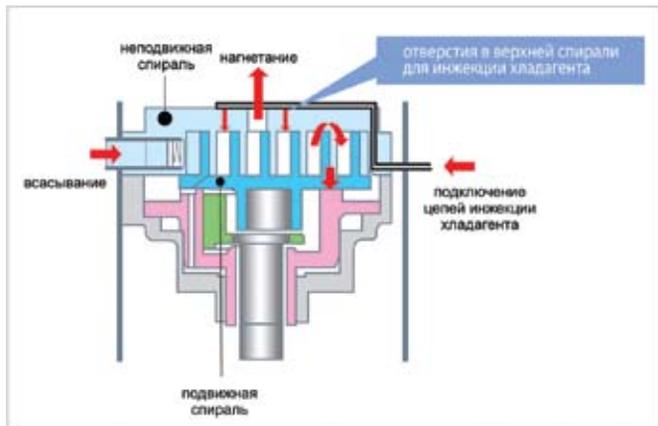


Рис. 5. Структура компрессора с каналом инъекции

Расширительный вентиль LEV B задает величину переохлаждения хладагента в конденсаторе. Вентиль LEV A определяет перегрев в испарителе, а LEV C поддерживает температуру перегретого пара на выходе компрессора около 90°C. Это происходит за счет того, что, попадая через цепи инъекции в замкнутую область между спиралью компрессора, двухфазная смесь перемешивается с газообразным горячим хладагентом, и жидкость из смеси полностью испаряется. Температура газа понижается. Регулируя состав парожидкостной смеси, можно контролировать температуру нагнетания компрессора. Далее мы увидим, что это позволяет не только избежать перегрева компрессора, но и оптимизировать теплопроизводительность конденсатора.

Эффект от инъекции газообразного хладагента заключается в следующем. Поток хладагента через компрессор складывается из хладагента, поступающего через линию всасывания, и хладагента, проходящего через цепь инъекции. При низкой температуре наружного воздуха инъекция увеличивает общий расход. В результате больше горячего пара поступает в конденсатор (теплообменник внутреннего блока), и его тепловая мощность увеличивается.

Кроме того, инъекция газа увеличивает эффективность всего холодильного контура. Дело в том, что обычно на вход испарителя после дросселирующего устройства поступает парожидкостная смесь. При этом входящий газ бесполезно проходит по испарителю, практически не внося вклад в холодопроизводительность. Далее он поступает в компрессор, который затрачивает энергию на его сжатие совместно с газом, образовавшимся в испарителе. При инъекции газа в компрессор газообразный хладагент отбирается в цепь инъекции при промежуточном давлении. И компрессор затрачивает меньшую энергию на сжатие этого газа, потому что сжатие до давления конденсации происходит от уровня промежуточного давления, а не от давления испарения. Данный эффект проявляется как в режиме обогрева, так и в режиме охлаждения.

Рассмотрим подробнее взаимосвязь между расходом хладагента, проходящего через цепь инъекции, и тепловой мощностью конденсатора. С одной стороны, с увеличением количества инжектируемого газа расход хладагента через конденсатор увеличивается, но при этом температура перегрева паров на входе в конденсатор уменьшается. На рисунке 6 показано распределение температуры вдоль поверхности теплообменника при одинаковой температуре конденсации, но при разной температуре входящего газа. Существенные различия наблюдаются на участке, где хладагент находится в состоянии перегретого газа. Конечно, теплообмен на горизонтальном участке конденсации доминирует, но и участок перегретого газа нельзя сбрасывать со счетов, поскольку он вносит 20-30% в теплопроизводительность конденсатора.



Рис. 6. Распределение температуры конденсатора

Наличие двух соизмеримых и противоположно направленных факторов приводит к тому, что теплопроизводительность системы достигает максимума при строго определенном расходе инжектируемого газа. Таким образом, алгоритм управления цепью инъекции может быть оптимизирован с целью достижения максимальной теплопроизводительности, например, при пуске системы в холодном помещении. Но на некоторых этапах работы теплового насоса требуется не столько производительность, сколько экономичная работа. Например, после прогрева помещения максимальная мощность больше не требуется, и предпочтительнее энергоэффективная

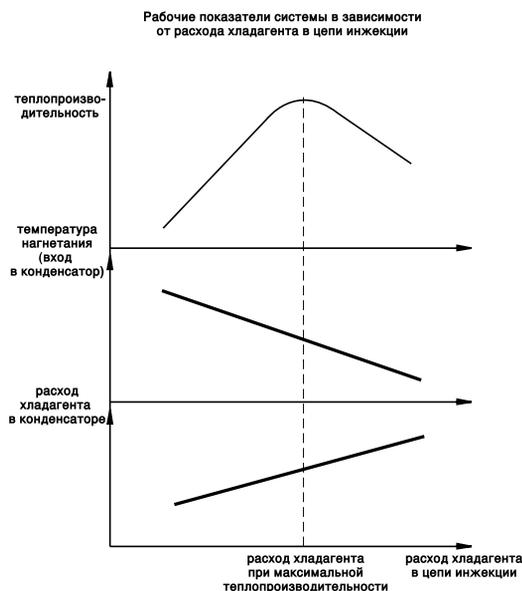


Рис. 7. Теплопроизводительность системы ZUBADAN

работа системы. Поэтому на данном этапе расход инжектируемого хладагента уменьшается, что влечет за собой повышение температуры на входе конденсатора и уменьшение его производительности. Но в этом случае ограничение расхода в цепи инжекции сокращает количество газа, которое сжимает компрессор. Потребляемая мощность уменьшается, а энергоэффективность увеличивается. Рисунок 7 иллюстрирует зависимость производительности и экономичности системы от инжекции. В зависимости от условий эксплуатации система автоматически выбирает параметр оптимизации, что обеспечивает комфортный обогрев помещения и сокращение эксплуатационных расходов.

Есть еще один режим, в котором важна максимальная производительность системы, – это режим оттаивания наружного теплообменника (испарителя). В процессе работы в режиме обогрева на нем образуется иней, который ухудшает процесс испарения хладагента и теплообмен с наружным воздухом. Для оттаивания система переключается с помощью 4-ходового клапана в режим охлаждения. При этом из внутреннего блока перестает выходить теплый воздух, и обогрев помещения приостанавливается. Поэтому желательно сократить продолжительность этого «технологического» режима. Для этого одновременно с переключением 4-ходового клапана устанавливается приоритет максимальной производительности системы. Расширительный клапан LEV C в цепи инжекции открывается, увеличивая расход парожидкостной смеси. Основные следствия увеличения инжекции в режиме оттаивания аналогичны выводам, приведенным выше для режима обогрева. Производительность наружного теплообменника становится максимальной, и он быстро очищается от инея и льда. За время оттаивания температура в помещении не успевает ощутимо понизиться. Кроме того, после окончания режима оттаивания система снова включается с приоритетом теплопроизводительности и только после достижения целевой температуры выходит на экономичный режим.

Таким образом, оттаивание наружного теплообменника происходит интенсивно, и система быстро возвращается к нормальному обогреву. А можно ли увеличить интервал между оттаиваниями, то есть замедлить процесс образования инея и льда на теплообменнике? В системах ZUBADAN применяются две технологии. Первая – это гидрофильное покрытие ребер теплообменников. Оно позволяет избежать образования «мостиков» льда между соседними ребрами и последующей полной блокировки теплообменника. Вторая технология заложена в алгоритмы управления – интервал между режимами оттаивания изменяется в зависимости от температуры наружного теплообменника (температуры испарения) и температуры наружного воздуха. Предусмотрены «короткий» и «длинный» циклы оттаивания, сочетание которых позволяет оптимизировать процесс удаления инея с теплообменника наружного блока.

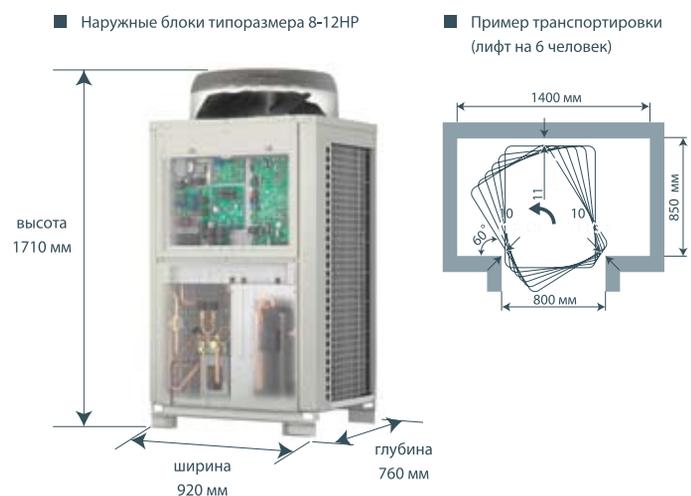
За последние два года системы ZUBADAN успешно прошли полевые испытания в северных районах Японии и в странах Скандинавии. И, наконец, в конце осени 2007 года компания Mitsubishi Electric приступила к серийному производству данного оборудования для европейского рынка, и в том числе для России.

CITY MULTI G4 – новое поколение

Компания Mitsubishi Electric начинает поставки новых мультизональных систем City Multi G4, которые приходят на смену серии YGM. В серии G4, которая будет обозначаться YHM, воплощена новая концепция построения наружных блоков. City Multi G4 появляется на европейском складе в январе 2008 года, но запасы склада позволят до апреля 2008 года поставлять при необходимости и серию YGM.

Более 10 лет назад компания разработала компоновку наружного блока, которая стала классической, а годы эксплуатации систем подтвердили правильность заложенных решений. Эта компоновка нашла последователей – многие компании в последние годы модифицировали свои блоки в соответствии с классической конструкцией. Но сейчас, после эпохи накопления количественных технологических изменений, компания Mitsubishi Electric готова к качественному переходу.

Основных составляющих нового подхода две – это уменьшение габаритных размеров наружных блоков и модульность конструкции мощных систем. Уменьшение размеров связано с изменением конструкции наружного блока. Вместо специально выделенного отсека в нижней части блока, в котором располагаются компрессор и основные элементы гидравлического контура, и V-образного теплообменника над ним, в новой компоновке применяется П-образный теплообменник, установленный на основании блока. В центре основания располагаются компрессор и другие компоненты. Для того чтобы обеспечить шумоизоляцию компрессора и низкий уровень шума наружного агрегата во всех направлениях, компрессор заключен в специальный изолированный корпус. Он препятствует распространению шума компрессора через плоскости теплообменника, что важно для обеспечения низкого уровня шума с любой из сторон агрегата.



Другим важным нововведением является модульная конструкция наружных блоков. Для построения блоков серии Y производительностью от 22 до 140 кВт используются 6 основных модулей и 2 дополнительных высокоэффективных модуля. Каждый модуль может быть использован как самостоятельный наружный блок, так и в составе комбинации с другими модуля-