

Проектирование фреоновых трубопроводов VRF-систем кондиционирования GENERAL (Japan)

Укрупненные методики и перспективные решения

С. В. Брух, Ассоциация Японские Кондиционеры, bruh@jac.ru

Проектирование фреоновых трубопроводов для VRF-систем кондиционирования – одна из важнейших задач, от правильности решения которой зависит эффективное функционирование многозональной системы кондиционирования. Конструктивно VRF-системы являются системами центрального кондиционирования, поэтому методики расчета фреоновых магистралей в чем-то подобны методикам расчета систем водяного отопления и холодоснабжения. Однако существуют серьезные отличия.

Во-первых, VRF-системы в качестве холодоносителя используют хладагент – следовательно, при расчете мы имеем дело уже с двухфазным энергоносителем (фреон-жидкость, фреон-газ, масло).

Во-вторых, особенностью функционирования VRF-систем является их многозональность, поэтому выбор расчетной (пиковой) нагрузки на участок трубопровода должен учитывать режим функционирования всей системы в целом.

Исходя из этих условий, расчет мультизональных систем обязан быть значительно сложнее, чем расчет обычной системы отопления, однако, на практике это не так. Для упрощения подбора VRF-системы японские производители разработали укрупненную методику, соблюдая которую, по замыслу разработчиков, практически любой инженер может достаточно быстро подобрать диаметры и конфигурацию трубопроводов. Давайте ее рассмотрим.

Укрупненная методика расчета трубопроводов VRF-систем

А) Конфигурация системы

Для начала необходимо определить конфигурацию системы, то есть расположение внутренних блоков, трубопроводов, тройников и наружных блоков относительно друг друга. На конфигурацию VRF-системы накладываются достаточно серьезные ограничения:

1. Фактическая длина жидкостных трубопроводов от наружного блока до самого удаленного внутреннего – максимум 150 м.

2. Суммарная длина всех жидкостных трубопроводов в системе – максимум 300 м.

3. Длина трубопроводов от первого тройника до дальнего внутреннего блока – максимум 60 м.

4. Перепад высот от наружного блока до самого удаленного (по вертикали) внутреннего – максимум 50 м.

5. Перепад высот между самыми удаленными (по вертикали) внутренними блоками – максимум 15 м.

Конкретные величины предельных длин трубопроводов и перепадов высот зависят от производителя VRF-систем, но в целом очень похожи.

Б) Определение диаметров медных трубопроводов

Во-первых, необходимо отметить требования производителей к качеству медной трубы, применяемой для VRF-систем. Исторически мультизональные системы работали на фреоне R22, однако сегодня произошел практически полный

переход на озонобезопасный фреон R410A. Так как максимальное (расчетное) давление в трубопроводах на R22 составляет 2,8 МПа, а для фреона R410A уже в полтора раза больше – 4,2 МПа, нагрузка на фреоновые трубы в новых VRF-системах значительно выше. Соответственно, выше требования к качеству медной трубы. Чем больше диаметр медного трубопровода, тем больше возникает усилие на разрыв при одинаковом давлении, тем больше должна быть толщина стенки. В целом считается, что до диаметра 15,88 мм (5/8) медные трубопроводы для фреонов R22 и R410A одинаковы, а вот большие диаметры должны иметь большую толщину стенок.

Определение диаметров трубопроводов производят по расчетным участкам. Расчетный участок трубопровода – это трубопровод с неизменным расходом фреона по всей длине. Как правило, он ограничен с обеих сторон тройниками или блоками VRF-системы. Выбор диаметра трубопроводов зависит от расхода хладагента по расчетному участку и фазового состояния фреона. Расход хладагента в свою очередь зависит от типоразмера обслуживаемых внутренних блоков, температуры внутреннего воздуха, величины открытия регулирующего клапана, коэффициента неодновременности теплоизбытков и многих других параметров. Однако для простоты расчета диаметры жидкостного и газового трубопроводов выбираются только исходя из суммарного количества индексов обслуживаемых внутренних блоков по специальным таблицам (табл. 1). Индекс внутреннего блока – это условный эквивалент его

Таблица 1

Выбор диаметра медного трубопровода и тройников в зависимости от суммы индексов (производительности по холоду) обслуживаемых внутренних блоков

Индекс участка, BTU	Мощность участка по холоду, кВт	Диаметр газовой трубы, мм (дюйм)	Диаметр жидкостной трубы, мм (дюйм)
14–35	4–10	9,52 (3/8)	15,88 (5/8)
36–53	10–15	9,52 (3/8)	19,05 (3/4)
54–90	15–28	12,7 (1/2)	22,22 (7/8)
91–161	28–45	12,7 (1/2)	28,58 (1–1/8)
162–180	45–56	15,88 (5/8)	28,58 (1–1/8)
181–269	56–80	15,88 (5/8)	34,92 (1–3/8)
270–323	80–95	19,05 (3/4)	34,92 (1–3/8)
324–567	95–150	19,05 (3/4)	41,27 (1–5/8)

производительности (в кВт, или тыс. BTU, или других единицах), присутствует у всех производителей VRF-систем в названии внутреннего блока. Например, индекс канального внутреннего блока ARXA36L GENERAL (Japan) равен 36.

Пример 1. Определить сумму индексов обслуживаемых внутренних блоков и диаметр для участка трубопровода *i* (рис. 1).

Участок обслуживает внутренние блоки под номерами: 5, 6, 7, 8. Сумма индексов этих внутренних блоков равна: 30 + 30 + 30 + 25 = 115.

Следовательно, диаметр участка *i* согласно таблице 1 должен быть: 12,7 (1/2) – жидкостная труба и 28,58 (1–1/8) – газовая труба.

Нюансы при выборе диаметра фреонпровода для VRF-систем:

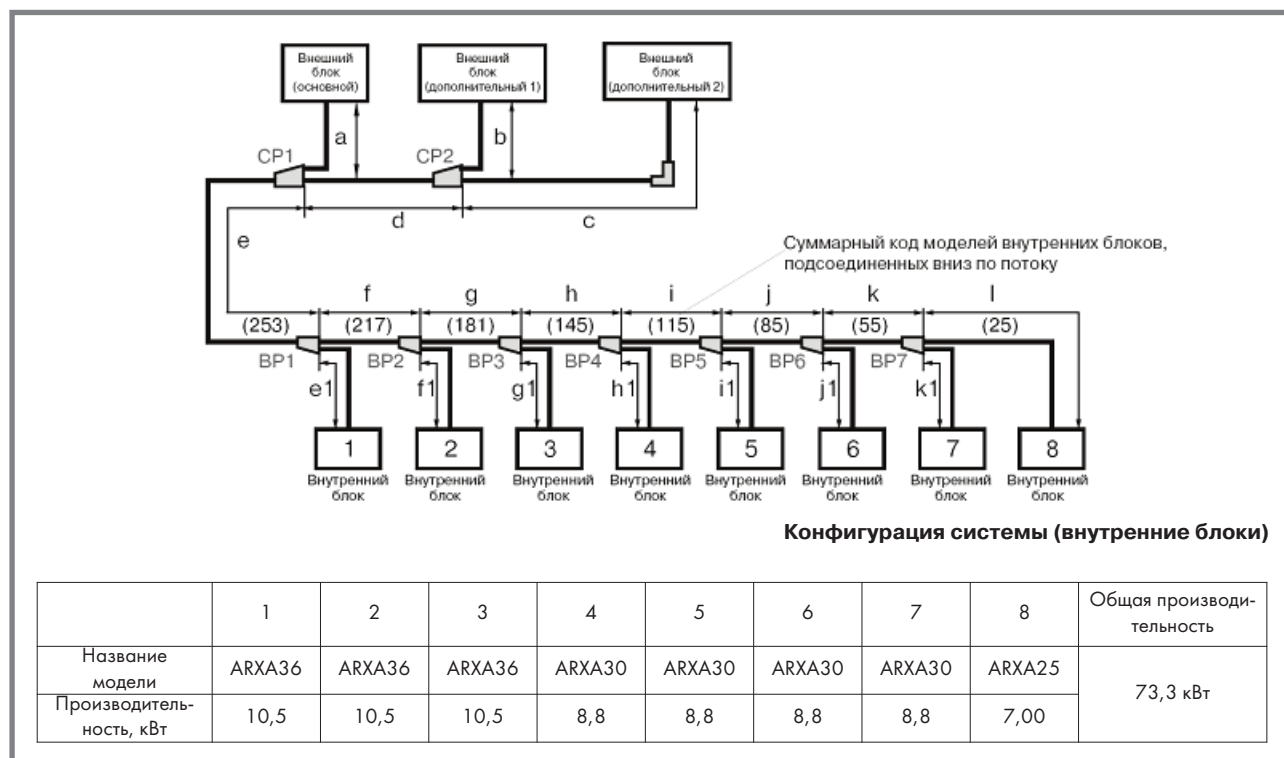
1. Диаметры трубопроводов, которые подходят непосредственно к внутренним или наружным блокам, задаются диаметром присоединительных вальцовок или труб для пайки.

2. Диаметры трубопроводов коллекторных участков (в примере 1 – участок *e*) задаются индексами наружных, а не внутренних блоков.

3. Диаметр трубопроводов между тройниками не может быть больше диаметра трубопровода коллекторного участка (*e*). Поэтому если по таблице 1 он получается больше – принимаем равным коллекторному трубопроводу.

Перспективные решения при проектировании фреоновых трубопроводов

Как было уже отмечено выше, классическая методика подбора трубопроводов по индексам является укрупненной и несколько ограничен-



■ Рис. 1.

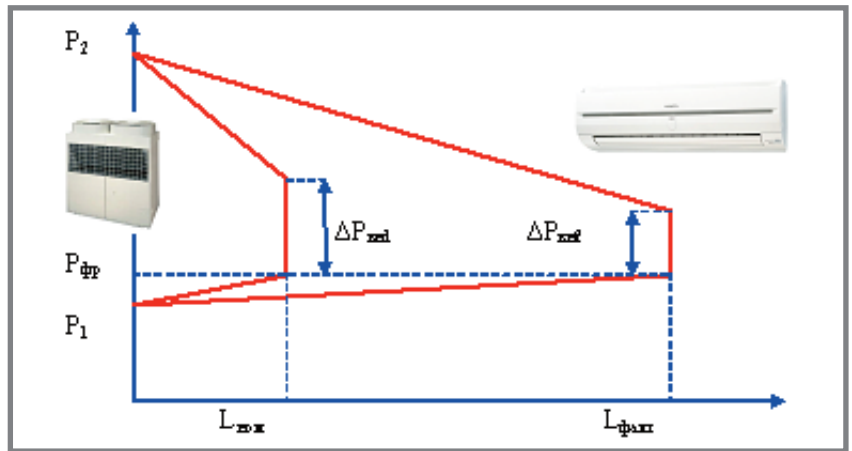
ной, так как не учитывает множество важных факторов. С другой стороны, реальные объекты кондиционирования зачастую требуют технических решений, не вписывающихся в существующие ограничения на проектирование VRF-систем. И тогда возникает закономерный вопрос – а что будет, если превысить длину трубопроводов, перепад высот, расстояние между тройниками и т. д. Сразу необходимо отметить, что, чем меньше длина трубопроводов, меньше перепад высот, и в целом – чем ближе с точки зрения фреонового контура находятся наружные блоки к внутренним, тем лучше. Однако попробуем все-таки ответить на эти вполне актуальные вопросы и рассмотрим физический смысл накладываемых ограничений.

1. Фактическая длина трубопроводов (длина жидкостных трубопроводов от наружного блока до самого удаленного внутреннего) 150 м.

При работе VRF-системы возникают гидравлические потери давления в циркуляционных трубопроводах по длине и на местных сопротивлениях (тройники, повороты). Если обратить внимание на стандартную длину жидкостных трубопроводов, при которой приводятся характеристики наружных блоков в каталогах производителей, то она достаточно мала – 7,5 м. Фактическая длина главного трубопровода (т. е. трубопровода от наружного блока до самого удаленного внутреннего) зачастую значительно больше – до 150 м. Следовательно, фактические потери давления в системе должны быть значительно больше. Однако особенностью систем автоматического регулирования VRF-кондиционеров является поддержание определенного давления на выходе и входе наружного блока (рис. 4). Потери давления в системе зависят не только от длины трубопроводов, а также от расхода фреона $G_{нар}$ и гидравлической характеристики сети $k_{гидр}$:

$$P_1 - P_2 = k_{гидр} \cdot G_{нар}^2 \quad (1)$$

Таким образом, при увеличении длины магистралей выше номинала 7,5 м происходит увеличение гидравлической характеристики сети и, соответственно, уменьшение расхода фреона



■ Рис. 2. График изменения давления в подающем и обратном фреопроводах

в системе. Наружный блок уменьшает общий расход фреона, сохраняя перепад давления в системе (рис. 2).

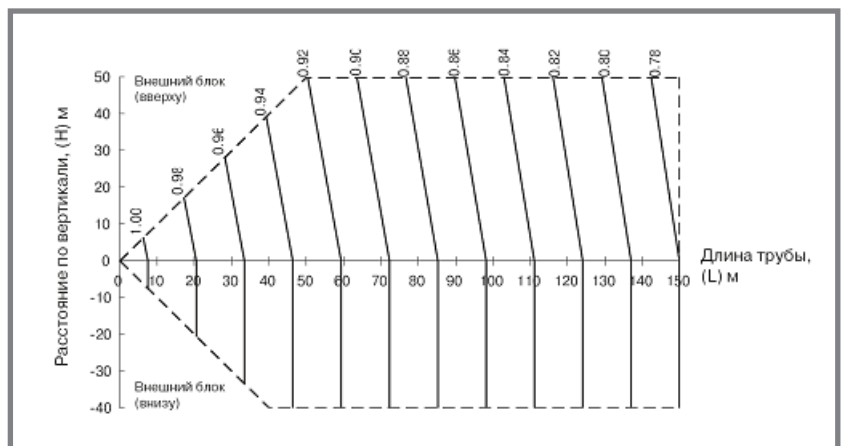
Пропорционально уменьшению расхода фреона происходит уменьшение производительности наружного блока (рис. 3). Величина потерь по длине зависит от конкретного производителя и является показателем эффективности работы фреонового контура системы.

Поэтому основная проблема VRF-систем с длинным главным трубопроводом – уменьшение фактической мощности наружного блока (у разных производителей от 15 до 35 %). Следовательно, при увеличении главного трубопровода свыше 160 м возникнут потери мощности в системе больше указанных на графиках производительности. Как этого избежать?

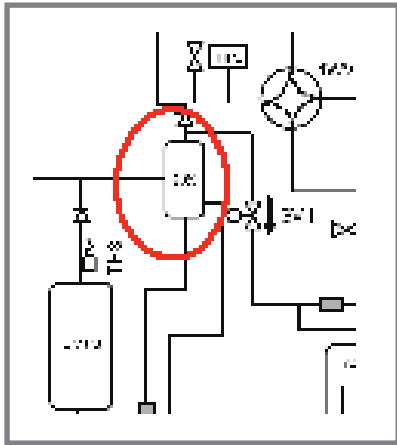
Потери давления в сети фреопро-

водов в значительной степени зависят от скорости движения хладагента. Поэтому самый простой и правильный путь снижения потерь давления, а соответственно, и потерь мощности наружного блока – увеличение диаметра жидкостного и газового трубопроводов. Потери давления на участке трубопровода при турбулентном движении фреона пропорциональны квадрату скорости потока. Увеличение диаметра коллекторного фреопровода на один типоразмер приводит фактически к снижению потерь мощности в два раза. Именно поэтому многие компании рекомендуют на длинных трубопроводах использовать увеличенные диаметры газового трубопровода с целью уменьшить потери мощности наружного блока.

Характерно, что подобный метод практически не применим в сплит-системах. Дело в том, что снижая скорость движения фреона в газовом тру-



■ Рис. 3. График изменения мощности охлаждения наружного блока серии V GENERAL (Japan)



■ Рис. 4. Система маслоотделения наружного блока AJGA126LATF

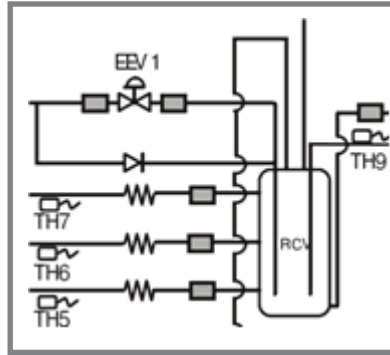
бопроводе, мы не только уменьшаем потери давления, но также ухудшаем процесс возврата фреонового масла в наружный блок. Для большинства VRF-систем возврат масла в наружный блок менее актуален, так как в их конструкции присутствует система маслоотделения, которая фактически оставляет масло в единственно нужном месте – в компрессорах (рис. 4).

Вывод: увеличение длин трубопроводов выше предельных значений допустимо, но его необходимо компенсировать увеличивая диаметры коллекторных (жидкостных и газовых) трубопроводов.

2. Общая длина трубопроводов (суммарная длина всех жидкостных трубопроводов в системе) 300 м.

Эта величина не зависит от параметров работы компрессорного узла, так как на величину потерь давления в системе влияет только главное циркуляционное кольцо. Потери давления в более коротких ответвлениях будут всегда меньше. Физический смысл данного ограничения сводится к объему ресивера наружного блока (рис. 5).

Дело в том, что при максимальной нагрузке всех внутренних блоков все жидкостные трубопроводы системы и часть испарителя внутренних блоков заполнены жидким фреоном. Однако, когда система работает с неполной нагрузкой, часть трубопроводов и неработающие внутренние блоки содержат только газообразный хладагент. Следовательно, неостребованный системой жидкий хладагент должен нахо-



■ Рис. 5. Ресивер с контролем уровня заполнения VRF-системы серии V GENERAL (Japan)

диться в ресивере наружного блока. Следует отметить, что данная величина на реальных объектах оказывается не критичной и общей длины трубопроводов 300 м практически всегда хватает.

3. Длина трубопроводов от первого тройника до последнего внутреннего блока 60 м.

Физический смысл данного ограничения сводится к выравниванию потерь давления в ответвлениях системы. Если выбор диаметра трубопроводов производится без учета их длины, тогда длина ответвлений должна быть примерно одинакова – с целью обеспечения равных потерь давления на всех ответвлениях. Иногда в реальных системах требуется сделать ответвление достаточно близко к наружному блоку и расстояние от первого тройника до последнего блока может быть больше номинальных величин. Следовательно, для нормальной циркуляции фреона мы должны увеличить удельные потери давления на первом (ближайшем к наружному блоку) ответвлении. Делается это (как один из вариантов) с помощью уменьшения на типоразмер диаметра жидкостного трубопровода между внутренним блоком и тройником.

4. Перепад высот между внутренними и наружными блоками 50 м.

Очень часто при кондиционировании высотных зданий требуется установка наружных блоков вверху – на крыше здания, или внизу – на уровне земли. При этом возникает большой перепад по высоте между внутренними и наружными блоками. Давайте рассмотрим, какие возникают проблемы при

установке наружных блоков значительно выше или ниже внутренних.

Вариант 1 – наружный блок устанавливается ниже внутренних. В этом случае в режиме охлаждения наружный блок подает жидкий хладагент вверх, а газообразный возвращается вниз к наружному блоку. Следовательно, компрессору приходится преодолевать гидростатическое давление жидкого хладагента, плотность которого значительно выше, чем газообразного, в результате чего производительность наружного блока снижается. Как правило, максимальный перепад высоты в данном случае составляет 40 м. Что произойдет с системой, если увеличить этот перепад, например, до 100 м?

В этом случае увеличатся потери давления в системе и, соответственно, снизится максимальная производительность наружного блока. Если обратить внимание на график изменения мощности наружного блока в зависимости от высоты и длины трубопроводов, то можно определить коэффициент коррекции мощности по высоте. Потери производительности носят линейный характер и составляют около 1 % на каждые 10 м перепада высоты. Соответственно, на 100 м перепада высоты наружный блок снизит свою производительность примерно на 10 % дополнительно к потерям мощности по длине.

Теперь определим потери давления. Плотность жидкого фреона R410A при температуре 5 °C составляет около 1151 кг/м³. При перепаде высоты между внутренним и наружным блоками 100 м гидростатический напор составит 1129 кПа или около 10 атм:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H = 1151 \cdot 9,81 \cdot 100 = 1129 \text{ кПа.} \quad (2)$$

Сравнивая эту величину с разницей между давлением конденсации в наружном блоке и давлением испарения во внутренних блоках (около 25 атм), видно, что даже при перепаде высот 100 м дополнительно необходимо дросселировать 15 атм. Соответственно, перепад высот 100 м (наружный блок ниже) не критичен для работы VRF-системы.

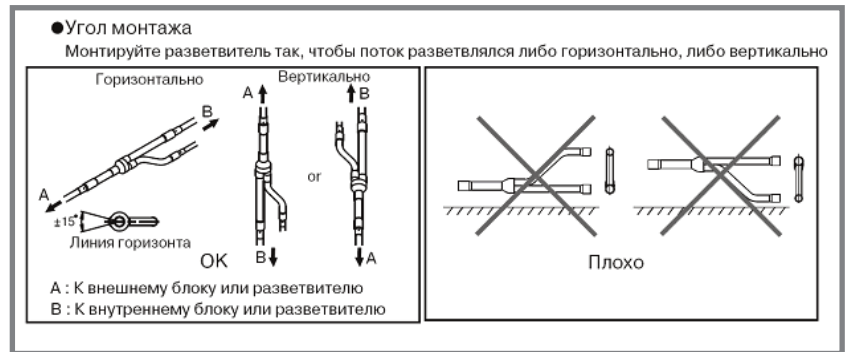
Еще одна проблема при большом перепаде высоты между элементами холодильного контура – возврат масла в компрессор наружного блока. Отделение масла от фреона происходит только в газовом трубопроводе. Но в рассматриваемом случае поток масла будет самотеком спускаться вниз вместе с газообразным хладагентом к наружному блоку, так что проблем с возвратом масла в компрессор также нет.

При переключении наружного блока в режим обогрева движение хладагента происходит в обратном направлении. С точки зрения производительности это хорошо – вверх поднимается газ, вниз поступает жидкость, гидростатическое давление «помогает» движению фреона. Производительность наружного блока не падает. Однако с точки зрения возврата масла в компрессор это не очень хорошо. На вертикальном подъеме может возникнуть ситуация, когда масло не сможет подняться по фреоновому трубопроводу и будет накапливаться в нем. Для возврата масла в компрессор VRF-система использует две технологии.

Первая технология – в конструкции наружного блока предусмотрен сепаратор масла (рис. 4). Он стоит на выходе из компрессора и отделяет масло из потока фреона. После чего масло вновь подается на всасывание компрессора. Эффективность этого устройства высока, но все равно небольшая часть масла уходит в систему. Для его возврата предусмотрен другой метод – включается режим возврата масла.

Режим возврата масла (вторая технология) реализуется следующим образом. Каждые 12 часов работы система включается в режиме максимального холода, все клапаны на внутренних блоках открываются, но вентиляторы не включаются. В результате жидкий фреон проходит через внутренний блок не испаряясь и жидким поступает в газовый трубопровод, вымывая масло из внутренних блоков и части газовых трубопроводов обратно в наружный блок.

Вариант 2 – наружный блок устанавливается выше внутренних на 100 м. Происходят обратные процессы: в режиме холода давление компрессора совпадает с направлением гидростатиче-



■ Рис. 6. Правила монтажа разделительных тройников для VRF-систем

ского напора в системе, поэтому производительность наружного блока по холоду даже увеличивается. Однако проблема возврата масла в наружный блок требует внимательного отношения к диаметрам газового трубопровода (они не должны быть завышены), через каждые 30–50 м перепада на газовом трубопроводе рекомендуется ставить маслоподъемные петли. В режиме тепла происходят дополнительные потери производительности наружного блока в пределах 10 % от номинальных значений.

5. Перепад высот между внутренними блоками 15 м.

Сравнивая конфигурацию VRF-систем с более простыми и понятными системами водяного отопления, нужно отметить разный подход к обвязке трубопроводами внутренних блоков.

Для VRF-систем характерна горизонтальная обвязка внутренних блоков, а для систем водяного отопления – преимущественно вертикальные коллекторные трубопроводы. Эта разница объясняется разным фазовым составом энергоносителя. Вода в системах отопления – это всегда жидкость с примерно одинаковой плотностью. А фреон на входе во внутренний блок – это жидкость (а на больших длинах трубопроводов – смесь жидкости и газа), на выходе из внутреннего блока – газ. Поэтому для VRF-систем критично равномерное поступление потоков во внутренние блоки. Например, даже установка тройников только горизонтально, чтобы разделение потоков происходило равномерно (рис. 6).

В случае большой разницы по высоте между внутренними блоками возникает неравномерное поступление

хладагента к ним и может провоцироваться ситуация, когда нижние внутренние блоки будут работать значительно лучше на холод, чем верхние. Особенно это критично в случае недоразмеренных наружных блоков. Принципиально делать большой перепад между внутренними блоками возможно (более 15 м), но тогда принимать производительность наружного блока нужно равной производительности внутренних.

Вывод

Проектирование фреоновых трубопроводов для VRF-систем кондиционирования по методикам производителей является достаточно тривиальной задачей и, как правило, не требует сложных инженерных расчетов. В случае нестандартной конфигурации трубопроводов VRF-систем инженер-проектировщик должен понимать физический смысл вводимых ограничений, очень осторожно принимать значения вне рекомендуемых производителем величин, компенсировать изменяемые гидравлические характеристики более точным расчетом систем.

Список литературы.

1. FUJITSU GENERAL LIMITED. Variable Refrigerant Flow System V series. Multi Air Conditioning System for Buildings. Technical data. 2007. ■

Материал предоставлен Ассоциацией Японские Кондиционеры – генеральным дистрибьютором GENERAL /Japan/ в России, странах СНГ и Балтии www.general-russia.ru