

УДК 628.8 + 697.9

Проблема разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками

Канд. техн. наук Н. В. КОЧЕНКОВ

kochenkov63@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье обосновывается необходимость разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха (СКВ), энергоэффективно обслуживающих помещения с разнохарактерными нагрузками. Показано, что разработка такой теории составляет самостоятельную проблему, актуальность которой обусловлена потребностями практики, а именно необходимостью повышения эффективности использования потребляемых энергетических ресурсов. Раскрываются особенности разработки таких систем и связанные с этим проблемные вопросы, которые обуславливают необходимость изменения традиционных подходов к созданию СКВ для помещений с разнохарактерными нагрузками. На примерах продемонстрировано, в чем именно состоит сложность выбора технологической схемы обработки воздуха в центральной и в местных системах при разнохарактерных нагрузках в обслуживаемых помещениях.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, эффективное использование энергетических ресурсов, энергосберегающие режимы функционирования, разнохарактерные нагрузки, технологическая схема обработки воздуха.

Development of methodical basis of ACS design for rooms with heat loads of different types

Ph. D. N. V. KOCHENKOV

kochenkov63@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The article deals with the problem of developing scientific and methodic basis of the air-conditioning systems (ACS) design in the rooms with heat loads of different types with low energy consumption. Developing of such a theory has been shown to be an independent problem, actual one in terms of practical needs i. e. the need for increasing energy consumption efficiency. The peculiarities of such systems design has been shown and associated problems of the need for changing traditional approaches of ACS designing in the rooms with heat loads of different types have been analyzed. The difficulties of choosing technological scheme of air handling in central and local ACS with heat loads of different types in the rooms being serviced have been exemplified.

Keywords: air-conditioning system, energy resources, low energy consumption mode, heat loads of different types, technological scheme

тих (организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных), в каждой из которых могут быть найдены свои, еще неиспользуемые, резервы для достижения энергосбережения в этих энергоемких системах. В статье рассматривается один из таких неиспользуемых резервов применительно к СКВ, обслуживающей помещения с разнохарактерными тепловлажностными и (или) газовыми нагрузками.

Независимо от степени разнохарактерности нагрузок в помещениях функциональные требования к СКВ не должны сводиться только лишь к обеспечению ими нормируемых параметров воздушной среды в обслуживаемых помещениях. Выполнение этой задачи должно быть организовано таким образом, чтобы потребляемые в процессе тепловлажностной обработки воздуха энергетические ресурсы (теплота, холод, воздух и вода) использовались эффективно. Способность системы функционировать энергоэффективно – это современное требование к ней, обусловленное необходимостью сокращения объема потребляемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования [1].

С учетом указанных требований к СКВ, на нее должны возлагаться две взаимосвязанные задачи: во-первых, обеспечение нормируемых параметров воздуха в обслуживаемых помещениях и, во-вторых, организация энергоэффективного управления процессом тепловлажностной обработки воздуха, т. е. управления по энергосберегающим режимам.

Можно выделить два принципиально различных подхода к разработке СКВ, обслуживающей помещения с разнохарактерными нагрузками.

При первом подходе принимается, что каждое из помещений обслуживается своей отдельной СКВ. В этом случае система представляет собой совокупность само-

Повышение эффективности использования потребляемых энергетических ресурсов в системах кондиционирования воздуха (СКВ) является многогранной задачей. Соответственно комплекс мер, направленных на ее решение, должен рассматриваться в различных плоскостях

стоятельных однозональных СКВ. По капитальным затратам этот вариант СКВ невыгоден, однако по расходам потребляемых энергетических ресурсов его можно рассматривать в качестве эталонного [2], поскольку в этом варианте возможна организация управления каждой самостоятельной СКВ по энергосберегающим режимам. Этот подход далее в статье не рассматривается, поскольку научно-методические основы создания однозональных СКВ, также как и СКВ, обслуживающих помещения с однохарактерными нагрузками, разработаны [3–7].

При втором подходе к разработке СКВ, обслуживающей помещения с разнохарактерными нагрузками, в составе системы предусматривается как централизованная обработка наружного воздуха, например, в центральном кондиционере (ЦК), так и местные системы.

Не смотря на то, что этот подход (под различными его названиями) широко используется в практике проектирования, тем не менее, в существующих способах его реализации решается только задача по обеспечению в помещениях нормируемых параметров воздушной среды. Задача же по организации энергоэффективного управления СКВ даже не ставится заказчиком в техническом задании на разработку системы, поскольку обязательность наличия такого требования к системе в нормативных документах (как общероссийских, так и региональных) до сих пор не прописана. В результате, при разработке системы, вопросы обоснования энергосберегающих процессов обработки воздуха в течение годового цикла эксплуатации не прорабатываются. Как результат, принимаются неэкономичные, с точки зрения эффективности использования потребляемых энергетических ресурсов, технические решения по СКВ.

И тем не менее, этот второй подход к разработке СКВ заслуживает серьезного внимания, поскольку здесь можно добиться не только сокращения капитальных затрат за счет централизации процессов обработки наружного воздуха [2], но и существенно повысить эффективность использования потребляемых энергетических ресурсов. Повышение происходит за счет того, что расходы энергетических ресурсов могут быть сведены к тем эталонным значениям, которые имеют место при однозональных СКВ. Для этого требуется разработать методический аппарат для решения тех проблемных вопросов, которые обусловлены особенностями организации энергоэффективных процессов тепловлажностной обработки воздуха в СКВ, обслуживающей помещения с разнохарактерными нагрузками. Рассмотрим эти вопросы.

Вопрос 1. Как определить, целесообразно ли централизованная обработка наружного воздуха в ЦК или же нагрузки в помещениях настолько разнохарактерны, что такая централизация ведет к значительным перерасходам энергетических ресурсов при тепловлажностной обработке воздуха? Как количественно оценить, какой должна быть допустимая степень разнохарактерности нагрузок, чтобы можно было обоснованно дать положительный ответ на этот вопрос. Если при решении этого вопроса предпочтение отдается все же централизованной СКВ с местными системами, то возникает необходимость в решении последующих вопросов.

Вопрос 2. Какие процессы тепловлажностной обработки наружного воздуха должны быть предусмотрены в ЦК?

На первый взгляд ответ на этот вопрос вполне очевиден: для эффективного использования потребляемых энергетических ресурсов тепловлажностная обработка наружного воздуха в ЦК должна быть организована по энергосберегающим режимам. Но как этого добиться, ведь требования к технологии обработки воздуха в ЦК, предъявляемые со стороны разнохарактерных нагрузок в помещениях, зачастую могут не совпадать, в результате чего для помещений одновременно потребуются разные, в том числе и взаимоисключающие, процессы обработки воздуха в ЦК. Кроме того, могут быть случаи, когда для одного из помещений не потребуется первая (I) рециркуляция, а для другого – ее использование будет обязательным.

Как в этих случаях правильно обосновать технологическую схему обработки наружного воздуха в ЦК, которая бы, во-первых, удовлетворяла одновременно требованиям со стороны разнохарактерных нагрузок в помещениях и, во-вторых, была способной энергоэффективно реализовывать процесс обработки наружного воздуха в ЦК в течение годового цикла эксплуатации.

Вопрос 3. Какие процессы тепловлажностной обработки воздуха должны быть предусмотрены в местных системах (МС)? Как эти процессы должны изменяться в течение года, с тем, чтобы МС и ЦК функционировали согласованно, не создавая необоснованных дополнительных нагрузок друг на друга.

Вопрос 4. Какие параметры наружного воздуха должны быть приняты в качестве расчетных, и сколько таких параметров должно быть?

Очевидно, что каждому расчетному параметру наружного воздуха должна соответствовать своя технологическая схема тепловлажностной обработки воздуха и свои значения установочных производительностей подсистем, необходимых для ее реализации.

Если для разработки СКВ, обслуживающей помещения с однохарактерными нагрузками, информации о климате, представленной в СНиП 23-01-99* для зимнего и летнего периодов года в виде параметров А и Б, может оказаться достаточно, то для СКВ, обслуживающей помещения с разнохарактерными нагрузками, дело обстоит совсем иначе. Здесь информации о климате в виде расчетных параметров наружного воздуха только для зимнего и летнего периодов года явно недостаточно, поскольку на основе соответствующих им двух расчетных технологических схем невозможно полностью выявить всю динамику изменения технологии обработки воздуха в ЦК и МС за годовой цикл эксплуатации. Может оказаться так, что для каких-то других параметров наружного воздуха потребуются иные технологические схемы в ЦК и МС, а эта информация будет упущена. Поэтому расчетных параметров наружного воздуха должно быть столько, чтобы можно было выявить все расчетные (частные) технологические схемы тепловлажностной обработки воздуха в ЦК и МС, которые будут востребованы в течение года, и на их основе сформировать обобщенную технологическую схему. Какие параметры наружного воздуха следует принимать в качестве расчетных будет зависеть от степени разнохарактерности тепловлажностных нагрузок в помещениях. При этом необходимым условием для решения этого вопроса является наличие информации о климате

за весь год. Требования к форме представления такой информации изложены в работе [8].

Вопрос 5. Какие расчетные значения тепловлажностных нагрузок целесообразно возложить на ЦК, а какие оставить для реализации в МС? Очевидно, что распределение этих нагрузок между ЦК и МС должно быть организовано таким образом, чтобы максимальная их часть приходилась бы на ЦК. Но как правильно определить эту максимально-целесообразную нагрузку?

Вопрос 6. Как правило, фактические тепловлажностные нагрузки в помещениях отличаются от расчетных и являются переменными во времени. Как должны распределяться эти фактические нагрузки между ЦК и МС в каждый конкретный момент времени, чтобы обеспечить энергоэффективное функционирование этих систем по энергосберегающим режимам, и каким должен быть алгоритм управления этими режимами.

Приоритетная роль среди указанных выше проблемных вопросов отводится первому из них, поскольку при отрицательном его решении последующие из указанных выше вопросов, отпадают. Покажем на следующих двух примерах, каким должен быть подход к решению первого вопроса.

Рассматривается объект, состоящий из двух помещений, обозначенных соответственно номерами 1 и 2. Нормируемые параметры воздушной среды в обоих помещениях одинаковые: заданы в виде области $U_a U_b U_r$, а в течение года поддерживаются по диагонали $U_a U_b$ (рис. 1, а, б). В каждое из помещений требуется подача наружного воздуха. Оба помещения встроенного типа

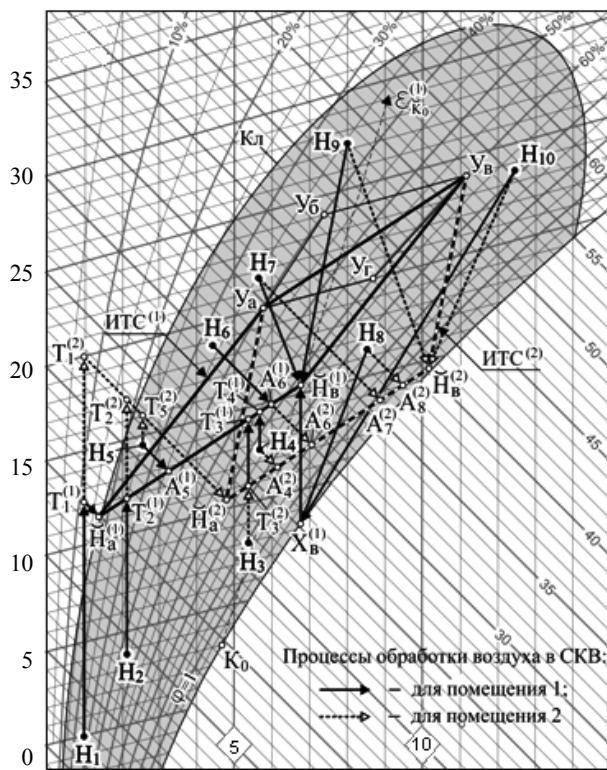
(ограничение 1), с постоянными тепловыми, влажностными и газовыми нагрузками (ограничение 2), которые являются разнохарактерными (ограничение 3).

В графическом виде информация о тепловлажностных и газовых нагрузках в помещениях 1 и 2 представляется на $I-d$ -диаграмме в виде исходных термодинамических схем (ИТС), обозначенных соответственно как ИТС⁽¹⁾ и ИТС⁽²⁾. При принятых выше первых двух ограничениях положения ИТС⁽¹⁾ и ИТС⁽²⁾ на $I-d$ -диаграмме остаются неизменными в течение года. Наличие же третьего ограничения указывает на то, что на $I-d$ -диаграмме опорные точки ИТС⁽¹⁾ и ИТС⁽²⁾ не совпадают друг с другом. На рис. 1, а, б ИТС⁽¹⁾ показана сплошной линией, а ИТС⁽²⁾ – пунктирной.

Для помещения 1 принятые такие тепловые, влажностные и газовые нагрузки, при которых соответствующая им ИТС⁽¹⁾ расположена выше линии $\varphi = 1$ и I рециркуляция не требуется. Для помещения 2 принято два варианта нагрузок: в первом варианте – ИТС⁽²⁾ располагается над линией $\varphi = 1$ и I рециркуляция не требуется; во втором варианте – у ИТС⁽²⁾ опорная точка $H_B^{(2)}$ располагается под линией $\varphi = 1$, что обуславливает необходимость использования I рециркуляции. Соответственно рассматривается два примера: в первом – в обоих помещениях I рециркуляция не используется (рис. 1, а); во втором – для помещения 2 – использование I рециркуляции в определенные моменты времени года является обязательным (рис. 1, б).

В каждом из этих примеров требуется сравнить между собой энергосберегающие режимы функционирования двух отдельных СКВ, обозначенных соответс-

а



б

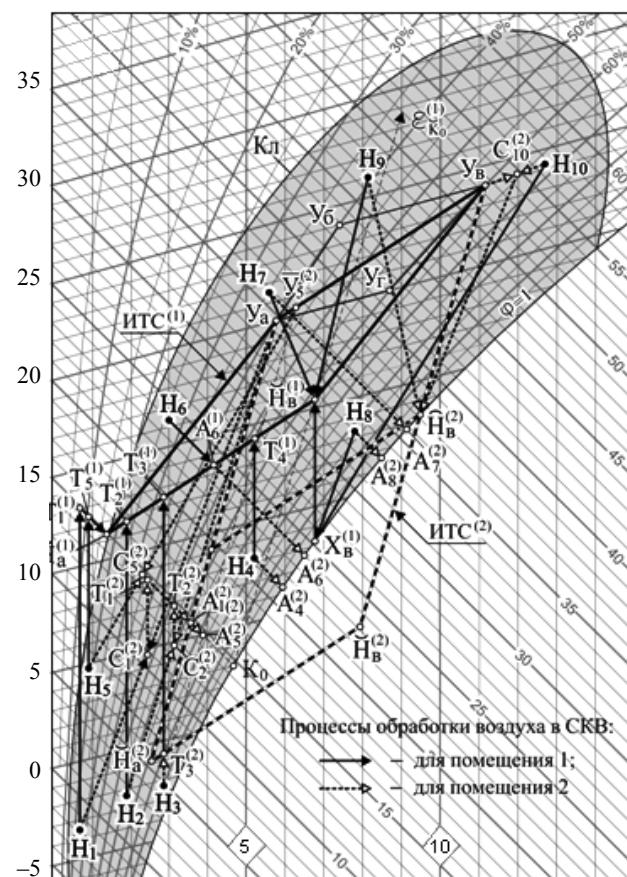


Рис. 1. Фрагменты $I-d$ -диаграммы с процессами обработки воздуха: а – в примере 1; б – в примере 2.

твенно как СКВ⁽¹⁾ и СКВ⁽²⁾, каждая из которых обслуживает свое помещение, и показать насколько существенно они могут различаться между собой за годовой цикл эксплуатации.

Информация о климате принимается за год. Граница области климата очерчена на *I-d*-диаграмме линией *Kl*. Из всей этой области выбрано десять представительных точек, обозначенных как H_1, H_2, \dots, H_{10} . Для этих точек климата показаны энергосберегающие (энергоэффективные) процессы обработки воздуха, которые требуются для каждого из помещений в отдельности, при этом для помещения 1 они показаны сплошными стрелками; для помещения 2 — пунктирными. Вопросы, связанные с правилами их построения здесь не рассматриваются ввиду их достаточной проработанности в литературе [3, 4]. Кроме того, чтобы не усложнять рисунки, на них не показаны линия $\Pi_a\Pi_b$, характеризующая параметры приточного воздуха, и процессы асимиляции в помещениях.

Сравнительный анализ показанных процессов тепловлажностной обработки воздуха в каждой из представительных точек климата, позволяет выделить следующие характерные случаи для режимов функционирования СКВ⁽¹⁾ и СКВ⁽²⁾.

Во-первых, режимы функционирования этих СКВ могут быть одинаковыми, т. е. состоять из одних и тех же процессов обработки воздуха, причем в одной и той же их последовательности, но вектора этих процессов будут начинаться и (или) заканчиваться в разных точках. В примере 1 это характерно для точек климата H_1, H_3, H_6 . Так, в точке H_1 (рис. 1, а) для обоих помещений требуется нагрев и адиабатное увлажнение: для помещения 1 это вектора $H_1T_1^{(1)}$ (нагрев) и $T_1^{(1)}\tilde{H}_a^{(1)}$ (адиабатное увлажнение); для помещения 2 — соответственно вектора $H_1T_1^{(2)}$ и $T_1^{(2)}\tilde{H}_a^{(2)}$. В точке H_3 (рис. 1, а, б) требуются только процессы нагрева: для помещения 1 — вектор $H_3T_3^{(1)}$; для помещения 2 — вектор $H_3T_3^{(1)}$. В точке H_6 (рис. 1, а, б) требуются только процессы адиабатного увлажнения: для помещения 1 — вектор $H_6T_6^{(1)}$; для помещения 2 — вектор $H_6T_6^{(2)}$.

Во-вторых, режимы функционирования СКВ⁽¹⁾ и СКВ⁽²⁾ могут отличаться между собой хотя бы одним процессом. Это характерно для точек климата H_2, H_5, H_{10} (рис. 1, а). Так, в точке H_2 для помещения 1 требуется только нагрев (вектор $H_2T_2^{(1)}$); для помещения 2 — нагрев (вектор $H_2T_2^{(2)}$) и адиабатное увлажнение (вектор $T_2^{(2)}\tilde{H}_a^{(2)}$). В точке H_5 для помещения 1 требуется адиабатное увлажнение (вектор $H_5T_5^{(1)}$); для помещения 2 — нагрев (вектор $H_5T_2^{(2)}$) и адиабатное увлажнение (вектор $T_2^{(2)}\tilde{H}_a^{(2)}$). В точке H_{10} для помещения 1 требуется политропное охлаждение с осушкой (вектор $H_{10}X_B^{(1)}$) и нагрев (вектор $T_a^{(1)}\tilde{H}_a^{(1)}$); для помещения 2 — только политропное охлаждение с осушкой (вектор $H_{10}\tilde{H}_B^{(2)}$).

В-третьих, режимы функционирования СКВ⁽¹⁾ и СКВ⁽²⁾ могут оказаться совершенно различными, не имеющими между собой никаких общих процессов. Это характерно для представительных точек климата H_4, H_8 (рис. 1, а, б). Так, в точке H_4 для помещения 1 требуется нагрев (вектор $H_4T_4^{(1)}$), а для помещения 2 — адиабатное увлажнение (вектор $H_4A_4^{(2)}$). В точке H_8 для помещения 1 требуется политропное охлаждение с осушкой (вектор

$H_8X_B^{(1)}$), а затем нагрев (вектор $X_B^{(1)}\tilde{H}_B^{(1)}$); для помещения 2 — адиабатное увлажнение (вектор $H_8A_8^{(2)}$).

В-четвертых, для режимов функционирования СКВ⁽¹⁾ и СКВ⁽²⁾ какие-то из процессов обработки воздуха могут быть общими, но при этом ни один из векторов режимов функционирования не может быть реализован полностью в ЦК и для каждого из них требуется еще дополнительная обработка воздуха в МС. Это характерно для точек климата H_7, H_9 (рис. 1, а, б). Так, в точке H_7 для помещения 1 требуется политропное охлаждение с увлажнением (вектор $H_7\tilde{H}_B^{(1)}$); для помещения 2 — адиабатное увлажнение (вектор $H_7A_7^{(2)}$). В точке H_9 требуется политропное охлаждение, но для помещения 1 этот процесс должен быть с осушкой (вектор $H_9\tilde{H}_B^{(1)}$), а для помещения 2 — с увлажнением (вектор $H_9\tilde{H}_B^{(2)}$).

В-пятых, режимы функционирования СКВ для одного из помещений могут быть организованы без I рециркуляции, а для другого — смешение наружного воздуха с воздухом I рециркуляции является необходимым. Это характерно для точек H_1, H_2, H_5, H_{10} (рис. 1, б). Так вектора процессов в СКВ⁽²⁾ для этих точек будут следующие: для точки H_1 : смешение $(H_1C_1^{(2)} + Y_aC_1^{(2)})$, нагрев $C_1^{(2)}T_1^{(2)}$ и адиабатное увлажнение $T_1^{(2)}A_1^{(2)}$; для точки H_2 : смешение $(H_2C_2^{(2)} + Y_aC_2^{(2)})$, нагрев $C_2^{(2)}T_2^{(2)}$ и адиабатное увлажнение $T_2^{(2)}A_2^{(2)}$; для точки H_5 : смешение $(H_5C_5^{(2)} + \bar{Y}_5^{(2)}C_5^{(2)})$ и адиабатное увлажнение $T_5^{(2)}A_5^{(2)}$; для точки H_{10} : смешение $(H_{10}C_{10}^{(2)} + Y_B C_{10}^{(2)})$ и политропное охлаждение с осушкой (вектор $C_{10}^{(2)}\tilde{H}_B^{(2)}$).

Из приведенных примеров видно насколько разными для одной и той же точки климата (для одного и того же момента времени) могут оказаться требования к режимам функционирования СКВ для помещений 1 и 2. При таком их многообразии сложно правильно определить, какие из них должны быть реализованы в ЦК полностью, какие — только частично, а какие вообще целесообразно перенести на МС. Анализ режимов функционирования, аналогичный приведенному выше должен являться основой в принятии решения по первому проблемному вопросу.

Все обозначенные выше проблемные вопросы должны прорабатываться совместно уже на начальном этапе проектирования. Однако методик, позволяющих дать обоснованные ответы на них, на сегодняшний день не существует. Это обстоятельство обуславливает необходимость разработки соответствующего научно-методического обеспечения, в основу которого положено дальнейшее развитие научных положений, изложенных профессором А. А. Рымкевичем в работе [3], где показано, каким должен быть подход к анализу СКВ, обслуживающих помещения с разнохарактерными нагрузками.

Налицо имеет место следующее противоречие. С одной стороны требуется разработать такую СКВ, которая бы обеспечивала поддержание нормируемых параметров воздушной среды в обслуживаемых помещениях, и при этом функционировала бы энергоэффективно. С другой стороны необходимое для разработки такой системы научно-методическое обеспечение в настоящее время отсутствует.

Таким образом, необходимость построения теории и далее научно-методических основ для разработки

СКВ, энергоэффективно обслуживающих помещения с разнохарактерными нагрузками, является самостоятельной актуальной проблемой систем обеспечения микроклимата.

Список литературы

1. Закон Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261-ФЗ от 23.11.2009 г.
2. Креслин А. Я. Оптимизация энергопотребления системами кондиционирования воздуха. Учебное пособие. — Рига: РПИ, 1982. 154 с.
3. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. — СПб.: АВОК С-3, 2003. 271 с.
4. Коченков Н. В. Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: моногр. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009. Ч. 1: 399 с.
5. Коченков Н. В., Немировская В. В. Содержательная постановка задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1. С. 40–43.
6. Коченков Н. В. Метод решения задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2012. № 2. С. 41–45.
7. Коченков Н. В. Использование в СКВ воздухоосушителей, основанных на применении сорбентов // Вестник Международной академии холода. 2013. № 1. С. 51–55.
8. Коченков Н. В., Кобышева Н. В., Клюева М. В. Энергосберегающие режимы в СКВ и характеристика климата — взаимосвязанные задачи // Инженерные системы. 2006. № 3. С. 48–52.
9. Цыганков А. В., Гримитлин А. М. Состояние и перспективы развития систем кондиционирования воздуха. // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 47–50.

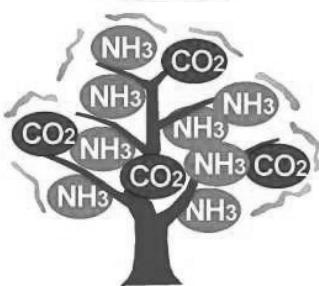
References

1. The law of the Russian Federation «About energy saving and about increase of energetic efficiency and about modification of separate acts of the Russian Federation» № 261-FZ of 23.11.2009. (in Russian)
2. Kreslin' A. Ya. Optimization of power consuming by air central airs. Manual. — Riga: RPI, 1982. 154 p. (in Russian)
3. Rymkevich A. A. Systems analysis of optimization of all-exchange cooling and air conditioning. — SPb.: AVOK S-Z, 2003. 271 p. (in Russian)
4. Kochenkov N. V. Energy saving modes of central airs of air: monograph. — St. Petersburg: VKA im. A. F. Mozhaiskogo, 2009. Ch. 1: 399 p. (in Russian)
5. Kochenkov N. V., Nemirovskaya V. V. Conceptual description of the vector optimization problem for air conditioning systems. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. No 1. p. 40–43. (in Russian)
6. Kochenkov N. V. A method of solving the problem of vector optimization for air conditioning systems. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. No 2. p. 41–45. (in Russian)
7. Kochenkov N. V. The use of sorbent-based dehumidifiers in air-conditioning systems. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013. No 1. p. 51–55. (in Russian)
8. Kochenkov N. V., Kobysheva N. V., Klyueva M. V. Energy saving modes in hard currency and the climate characteristic — interdependent tasks. *Inzhenernye sistemy*. 2006. No 3. p. 48–52. (in Russian)
9. Tsygankov A. V., Grimitlin A. M. Development of air-conditioning systems: current status and prospects. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013. No 4. p. 47–50. (in Russian)

International
Institute of
Refrigeration



Faculty of Mechanical Engineering, Skopje
University "Ss. Cyril & Methodius"



INTERNATIONAL CONFERENCE IIR

Ammonia and CO₂

Refrigeration Technologies

April 16-18, 2015, Ohrid, Republic of Macedonia

Commission B2 with B1 and D1

The topics of the conference are: design of modern ammonia and new CO₂ systems and technological innovations, improving energy efficiency, various applications, technical guidelines and safety regulations. It is very clear: by using more ammonia and CO₂ refrigerants, we are employing environmentally friendly technologies.

Organized by

International Institute of Refrigeration (IIR)

Faculty of Mechanical Engineering, University "Ss. Cyril & Methodius" – Skopje

www.mf.edu.mk