

УДК 628.8 + 697.97–5

Адаптация принципа управления «по отклонению и возмущению» для систем кондиционирования воздуха

Канд. техн. наук Н. В. КОЧЕНКОВ¹, В. Н. КОЧЕНКОВ²

¹kochenkov63@mail.ru, ²rddr@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Анализируются недостатки традиционного способа управления системой кондиционирования воздуха (СКВ). Для устранения этих недостатков предлагается перевести управление СКВ на уровень ее подсистем, где объектом управления будет являться не система в целом, а уже подсистемы. Для этого предлагается использовать комбинированный принцип управления «по отклонению и возмущению», который, хотя и известен в теории автоматического управления, но в СКВ до сих пор не реализован. Одна из причин этого заключается в том, что для использования комбинированного принципа управления в СКВ требуется его соответствующая адаптация применительно к этим системам. Именно в этом направлении авторами продолжаются исследования, начатые профессором А. А. Рымкевичем, одна из целей которых — обосновать требования к алгоритму управлению в СКВ на основе комбинированного принципа управления, а именно по отклонению фактических параметров воздуха от их расчетных значений и по возмущению на СКВ.

Ключевые слова: алгоритм управления, кондиционирование, отклонение, возмущающее воздействие, управляющее воздействие, энергоресурсы, энергосбережение.

Adaptation of the principle of control according to the deviation and disturbance results to air-conditioning systems

Ph. D. N. V. KOCHENKOV¹, V. N. KOCHENKOV

¹kochenkov63@mail.ru, ²rddr@mail.ru

ITMO University

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

The article deals with defects of conventional air-conditioning system control. To solve this problem system control transferring to sub-system level is proposed. Combined principle of control according to the deviation and disturbance results is considered, which despite its being known in automatic control theory hasn't been implemented in air-conditioning system. One of the reasons of it is that proper adaptation of the principle while being used in air-conditioning systems is required. It is the field of research which, following Professor Adolf Rymkevich, is going to be continued. The research is aimed at justifying the requirements for air-conditioning system control algorithm based on combined principle of control, namely the ones for deviations of actual air conditions from design values and for air-conditioning system disturbances.

Keywords: control algorithm, air-conditioning, deviation, disturbance input, control action, energy resources, energy saving.

Анализ недостатков существующего способа управления СКВ

Традиционно управление системой кондиционирования воздуха (СКВ) организуется по принципу отклонения фактических параметров воздуха в рабочей зоне помещения от их нормативно-заданных предельных значений [1–3].

Недостатком способа управления СКВ, основанного на этом принципе, является следующее.

Во-первых, управляющее воздействие в системе автоматического управления (САУ) определяется только отклонением фактических параметров воздуха в рабочей зоне помещения от их нормативно-заданных предельных значений, а причины этого отклонения, т. е. те возмущения в виде тепловлажностных и (или) газовых нагрузок на СКВ, под влиянием совместного воздействия которых

произошло это отклонение, не анализируются. А ведь одно и то же отклонение параметров воздушной среды в рабочей зоне помещения может быть вызвано различными причинами. Например, изменением внутренних тепловлажностных или газовых нагрузок непосредственно в самом помещении или изменением параметров климата, или изменением параметров воздуха в сетях его транспортировки, или, наконец, возникшей неисправностью в какой-либо из подсистем СКВ. Значит, и управляющее воздействие, направленное на компенсацию возникших возмущений, а, следовательно, и на устранение появившегося отклонения фактических параметров воздуха в рабочей зоне помещения, должно определяться не по величине этого отклонения, а по изменениям тех возмущений, в результате совместного воздействия которых оно произошло [4]. Роль же, отводимая для отклонения фак-

тических параметров воздуха в рабочей зоне помещения, при управлении СКВ состоит в том, что наличие такого отклонения является лишь признаком необходимости внесения корректировки в процесс управления. Кроме того, следует отметить, что содержание самого понятия «отклонение», используемого в традиционном способе управления, является неудачным, поскольку оно связано с выходом текущих параметров воздуха в рабочей зоне помещения за их нормативно-заданные предельные значения. Таким образом, для формирования управляющего воздействия в САУ требуется наличие необеспеченности параметров воздуха в рабочей зоне помещения.

Во-вторых, регулирование только по отклонению фактических параметров внутреннего воздуха предполагает организацию управления на уровне системы, что обуславливает необходимость в последовательном приложении управляющих воздействий, т. е. когда каждое последующее начинается только тогда, когда прекращается предыдущее. Это исключает возможность приложения управляющих воздействий одновременно в каждой из подсистем СКВ, а поэтому создает дополнительную инерционность в управлении и без того объективно инерционными процессами тепломассообмена в подсистемах СКВ.

В-третьих, при управлении по отклонению, как правило, решается только задача поддержания параметров воздуха в рабочей зоне помещения в нормативно-заданных пределах, т. е. задача стабилизации параметров воздуха, а задача организации управления процессами обработки воздуха в СКВ по энергосберегающим технологиям с целью сокращения расходов на потребление при этом энергоресурсов до оптимальных значений этих расходов — такая оптимизационная задача при управлении даже не ставится. В результате используемая технология обработки воздуха оказывается неэкономичной: имеют место значительные перерасходы энергоресурсов, а термодинамический потенциал наружного воздуха вовсе не используется.

В-четвертых, в ряде последних работ [5, 6] хотя и предлагается определять для каждого момента времени оптимальную последовательность процессов тепловлажностной обработки воздуха, тем не менее, для этих процессов не предусматривается расчет значений расходных и термодинамических параметров энергетических ресурсов, потребляемых при их реализации в подсистемах СКВ. В результате выход каждой подсистемы на расчетный режим с необходимой для этого режима производительностью подсистемы происходит не сразу, а постепенно в процессе ступенчатого регулирования, что дополнительно увеличивает инерционность в управлении системой.

Устранить указанные недостатки в управлении СКВ позволит использование комбинированного принципа управления «по отклонению и возмущению», который хотя и известен в теории автоматического управления [7], но в СКВ до сих пор не реализован. Одна из причин этого заключается в том, что для использования комбинированного принципа управления в СКВ требуется его соответствующая адаптация применительно к этим системам. Именно в этом направлении авторами продолжаются исследования [8], начатые профессором

А. А. Рымкевичем [9, 10], одна из целей которых — обосновать требования к алгоритму управления в СКВ на основе комбинированного принципа управления «по отклонению и возмущению».

Суть комбинированного принципа управления в СКВ

Прежде всего, следует уточнить содержание понятий «возмущение» и «регулируемые параметры», применительно к СКВ. Для этого рассматривается наиболее простой случай, когда СКВ обслуживает одно помещение, или группу помещений, в которых имеет место однохарактерные нагрузки. Более сложный случай, когда СКВ обслуживает помещения с разнохарактерными нагрузками, заслуживает отдельного рассмотрения [11, 12].

На рис. 1 изображена схема одного из возможных вариантов СКВ с обслуживаемым помещением. Схема включает в себя: помещение 1, регулирующие клапаны 2–7 в сетях транспортировки воздуха (наружного 2; воздуха первой рециркуляции 3 и второй рециркуляции 4; воздуха, проходящего через камеру орошения, 5 и по обводу камеры орошения 6; воздуха удаляемого 7), два калорифера (первого 8 и второго 10 подогрева), камеру орошения 9, приточный 11 и вытяжной 12 вентиляторы.

Под возмущающими воздействиями (возмущениями) на СКВ понимаются тепловлажностные и газовые нагрузки на эту систему. В зависимости от расположения источника этих возмущений относительно СКВ (а не относительно помещения) их целесообразно разделить на внешние и на внутренние.

Внешние возмущения на СКВ могут иметь несколько каналов воздействий (разные источники). Эти возмущения целесообразно объединить в соответствующий вектор внешних возмущений на СКВ \vec{f} , включающий в себя в общем случае следующие составляющие (рис. 1):

$$\vec{f} = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\},$$

где f_1 — внешние возмущения, обусловленные изменением параметров климата;

f_2 — внешние возмущения, обусловленные изменением в помещении нагрузок: тепловой $q_{\text{п}}$, влажностной — $W_{\text{п}}$ и газовой $m_{\text{п}}$ (значения $q_{\text{п}}$, $W_{\text{п}}$ являются результатом совместного воздействия наружных теплопоступлений (теплопотерь) $q_{\text{нар}}$ и внутренних тепловлагоизбытков $q_{\text{вн}}$, $W_{\text{вн}}$);

f_3, f_4, f_5, f_6 — внешние возмущения, обусловленные изменением параметров воздуха в сетях его транспортировки, а именно: f_3 — в сети наружного воздуха; f_4, f_5 — в сетях воздуха I рециркуляции и II рециркуляции соответственно; f_6 — в сети приточного воздуха.

В процессе управления СКВ численные значения возмущающих воздействий \vec{f} должны определяться по результатам измерений соответствующих параметров воздуха в местах замеров и попытки использовать для определения \vec{f} аналитические зависимости не являются результативными. Места расположения точек замеров показаны на рис. 1. Они обозначены в виде символа «*» в сетях транспортировки воздуха наружного, рециркуляционного и приточного, а также в помещении: в рабочей зоне, на притоке и удалении воздуха.

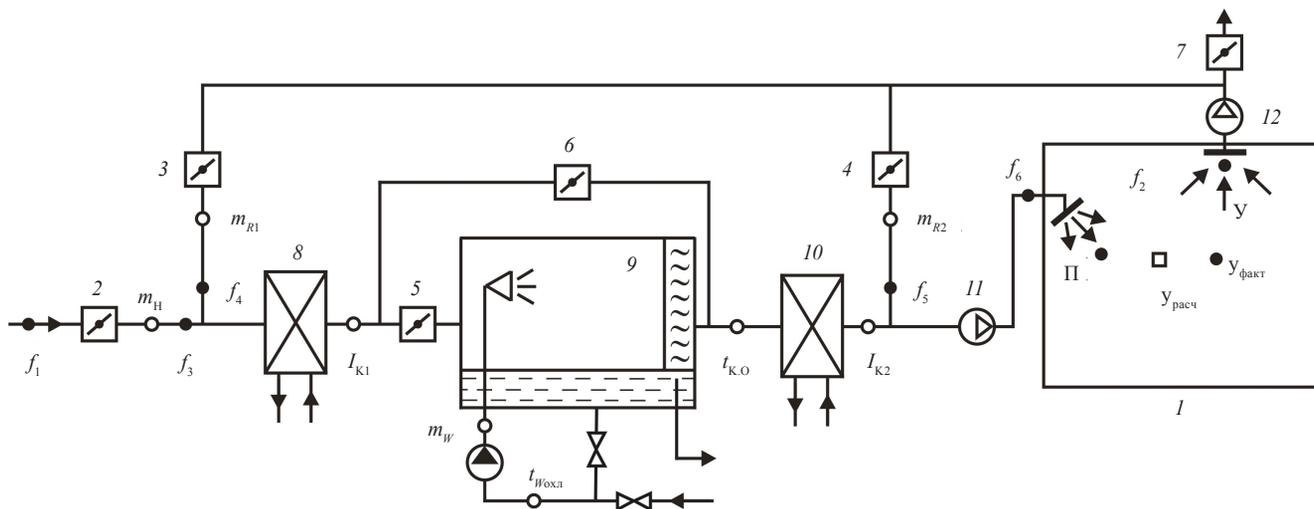


Рис. 1. Схема СКВ совместно с обслуживаемым помещением

В отличие от внешних возмущений внутренние возмущающие воздействия присутствуют на уровне подсистем и для каждой из подсистем они специфичны. Внутренние возмущающие воздействия на СКВ целесообразно объединить в соответствующий вектор \bar{f}^* , названный вектором внутренних возмущающих воздействий.

Регулируемые параметры на выходе из подсистем СКВ (на рис. 1 места их расположения обозначены в виде «») объединены в вектор \bar{y} . Для системы, показанной на рис. 1, в качестве составляющих вектора \bar{y} рассматриваются следующие регулируемые параметры:

m_H, m_{R1}, m_{R2} — расходы воздуха, соответственно, наружного, первой и второй рециркуляции, кг/с;

m_W — расход воды в камере орошения на увлажнение воздуха, г/с;

I_{K1}, I_{K2} — энтальпия воздуха после калорифера, соответственно, I и II подогрева, кДж/кг;

$t_{K.O}$ — температура воздуха после камеры орошения, °С;

$t_{W.oxl}$ — температура воды, подаваемой в камеру орошения при политропном охлаждении, °С.

Таким образом, вектор регулируемых параметров \bar{y} в данном случае состоит из восьми переменных:

$$\bar{y} = \{m_H, m_{R1}, m_{R2}, m_W, I_{K1}, I_{K2}, t_{K.O}, t_{W.oxl}\}.$$

Точка $U_{расч}$, показанная на рис. 1 в виде символа «□», характеризует расчетные параметры воздуха в рабочей зоне помещения, которые требуется поддерживать в каждый конкретный момент времени при возмущениях \bar{f} .

Вместо, используемого в настоящее время, принципа управления по отклонению фактических параметров воздуха в рабочей зоне помещения от их нормативно-заданных предельных значений предлагается использовать комбинированный принцип управления: по отклонению фактических параметров воздуха $U_{факт}$ от их расчетных значений $U_{расч}$ и по возмущению на СКВ \bar{f} .

На рис. 2 показана структура алгоритма предлагаемого способа управления. Она включает в себя верхний и локальный уровни управления.

На верхнем уровне управления определяются необходимые параметры воздуха в точках замеров (блок 1). По результатам этих замеров определяются фактические термодинамические параметры воздуха (точка $U_{факт}$) в рабочей зоне помещения (блок 2), а также рассчитываются возмущающие воздействия \bar{f} , представляющие собой реальные тепловлажностные нагрузки на СКВ в момент проведения замеров (блок 3).

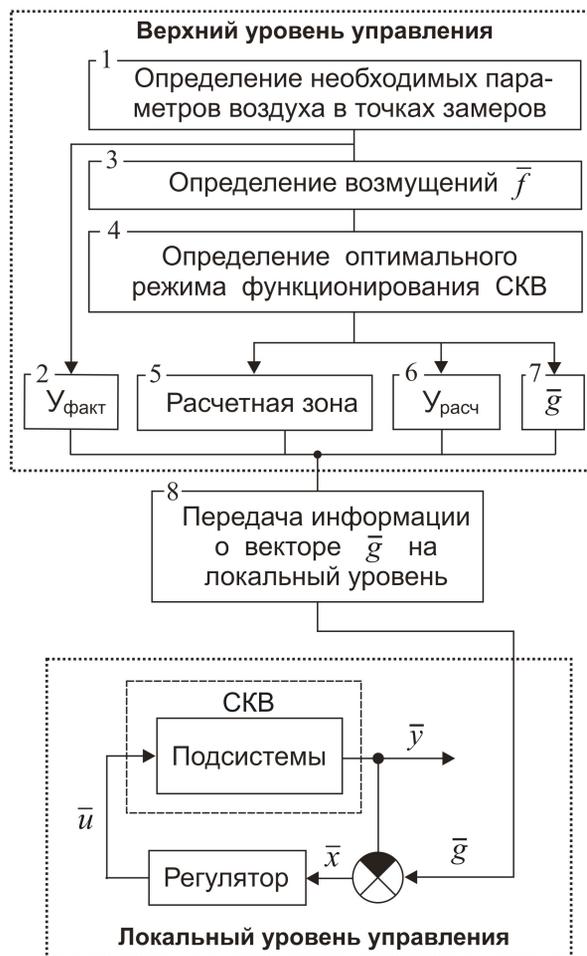


Рис. 2. Структура алгоритма управления СКВ

На основе полученных расчетных данных о возмущениях \bar{f} определяется оптимальный, с точки зрения эффективности использования потребляемых энергетических ресурсов, режим функционирования СКВ при этих нагрузках (блок 4). Оптимизационная задача, решаемая здесь, и метод ее решения были рассмотрены в [13, 14].

Расчетная информация, полученная в блоке 4, представляется в следующем виде:

- расчетная зона области наружного климата, к которой относится точка с параметрами климата в момент проведения замеров (блок 5);

- термодинамические параметры расчетной точки $U_{\text{расч}}$, характеризующей параметры воздушной среды, которые должны поддерживаться в помещении при возмущающих воздействиях \bar{f} (блок 6);

- расчетные значения для каждого из регулируемых параметров, входящих в вектор \bar{y} , представленные в виде составляющих вектора \bar{g} (блок 7).

Информация верхнего уровня управления, представленная в блоках 2, 5 и 6, предназначена для обеспечения передачи скорректированной информации о векторе \bar{g} на локальный уровень управления.

В определенные расчетные моменты времени информация о векторе \bar{g} передается с верхнего уровня на локальный для перенастройки уставок в подсистемах (блок 8).

На локальном уровне задача управления сводится к простому регулированию в каждой из подсистем СКВ одного или нескольких регулируемых параметров. При этом регулирование в подсистемах осуществляется по отклонению \bar{x} , где \bar{x} — вектор отклонений регулируемых параметров \bar{y} от их расчетных значений \bar{g} ($\bar{x} = \bar{g} - \bar{y}$), а все регулируемые параметры \bar{y} регулируются одновременно и независимо друг от друга во всех подсистемах.

Причиной отклонений \bar{x} регулируемых параметров \bar{y} от их расчетных значений \bar{g} может быть либо корректировка расчетных значений \bar{g} регулируемых параметров в блоке 7, либо влияние внутренних возмущающих воздействий \bar{f}^* .

Регулирующие воздействия, которые вырабатывают регуляторы на локальном уровне с целью устранения отклонений \bar{x} в подсистемах, объединены на рис. 2 в соответствующий вектор регулирующих воздействий \bar{u} .

Результатом решения задачи локального уровня управления является приведение режима функционирования СКВ в соответствие с фактическими возмущающими воздействиями \bar{f} . При этом фактические параметры воздуха в рабочей зоне помещения, характеризующиеся точкой $U_{\text{факт}}$, будут соответствовать расчетным параметрам, характеризующимся точкой $U_{\text{расч}}$.

Верхний и локальный уровни управления в интервалах между расчетными моментами времени функционируют автономно друг от друга, а взаимосвязь между ними, в виде передачи информации о скорректированных значениях составляющих вектора \bar{g} с верхнего на локальный уровень, осуществляется только в расчетные моменты времени.

Таким образом, принцип управления по отклонению фактических параметров воздуха $U_{\text{факт}}$ от их расчетных значений $U_{\text{расч}}$ и по возмущению на СКВ \bar{f} позволит перевести управление на уровень подсистем, где объектом управления является не система в целом, а ее подсисте-

мы, и тем самым устранить указанные выше недостатки в управлении СКВ.

Для адаптации принципа управления по отклонению и возмущению применительно к СКВ потребуются решить следующие задачи.

Во-первых, для реализации управления по возмущению на верхнем уровне требуется разработать модели и алгоритмы, устанавливающие корреляционные связи между вектором внешних возмущений \bar{f} и вектором расчетных значений регулируемых параметров \bar{g} .

Во-вторых, потребуется разработать методику определения численных значений внешних возмущений \bar{f} по результатам замеров. При этом особое место будет занимать вопрос, касающийся проведения замеров, а именно того, что, где и когда следует измерять для того, чтобы определять фактические нагрузки на СКВ.

В-третьих, потребуется разработать методику определения расчетного момента времени, в который будет производиться корректировка значений регулируемых параметров \bar{g} .

Кроме того, перечисленные задачи должны быть рассмотрены как для самостоятельно функционирующей центральной СКВ, так и для случаев, когда центральная СКВ функционирует совместно со смежными системами микроклимата [15], а также для СКВ, обслуживающей помещения с разнохарактерными нагрузками.

Список литературы

1. Сотников А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. — Л.: Стройиздат, 1984. 249 с.
2. Нефелов С. В., Давыдов Ю. С. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. — М.: Стройиздат, 1984. 328 с.
3. Бондарь Е. С., Гордиенко А. С., Михайлов В. А., Нимич Г. В. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. — Киев: Аванпост Прим, 2005. 561 с.
4. Коченков Н. В. Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха. Часть 1. СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками. Монография. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2009. 399 с.
5. Способ автоматического управления параметрами воздуха: пат. 2350850 Рос. Федерация: МПК⁷ F 24 F 11/00 / А. А. Рымкевич, А. М. Костыря, А. А. Качкин; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-технический университет. — № 2007144722/06; заявл. 30.11.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.
6. Способ автоматического управления системой кондиционирования воздуха по оптимальным режимам: пат. 2463524 Рос. Федерация: МПК⁷ F 24 F 11/06 / А. М. Костыря, Г. В. Харламов, С. И. Гачков и др.; заявитель и патентообладатель Г. В. Харламов. — № 2011124091/12; заявл. 14.06.2011; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28.
7. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. — СПб.: Профессия, 2003. 752 с.
8. Способ автоматического управления системой кондиционирования воздуха: заявка на изобретение 2014145500 Рос. Федерация: МПК⁸ F 24 F 11/06 / Н. В. Коченков, В. Н. Коченков; заявитель ВА МТО им. А. В. Хрулева, заявл. 12.11.2014. — 10 с.

9. Рымкевич А. А., Халамейзер М. Б. Управление системами кондиционирования воздуха. — М.: Машиностроение, 1977. — 280 с.
10. Рымкевич А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. — СПб.: АВОК С-3, 2003. — 271 с.
11. Коченков Н. В. Проблема разработки научно-методических основ создания систем кондиционирования воздуха для помещений с разнохарактерными нагрузками. // Вестник международной академии холода. 2014. № 3. С. 48–52.
12. Коченков Н. В. Системный подход к оптимизации СКВ в помещениях с разнохарактерными нагрузками. / Вентиляция общественных и промышленных зданий. Сб. докладов 29 марта 2013 г. 2013. С.45–50.
13. Коченков Н. В., Немировская В. В. Содержательная постановка задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1. С. 40–43.
14. Коченков Н. В., Немировская В. В. Метод решения задачи векторной оптимизации для систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2012. № 2. С. 41–45.
15. Цыганков А. В., Гримитлин А. М. Состояние и перспективы развития систем кондиционирования воздуха. // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 47–50.
- A. M. Kostyr, A. A. Kachkin; Applicant and patent holder Military technical university. — No. 2007144722/06; declared 30.11.2007; published 27.03.2009, Bulletin No. 9. (in Russian)
6. A way of automatic control of the air conditioning system on the optimum modes: stalemate. 2463524 Russian Federation: MPK7 F 24 F 11/06 / A. M. Kostyr, G. V. Kharlamov, S. I. Gachkov, etc.; applicant and patent holder G. V. Kharlamov. No. 2011124091/12; declared 14.06.2011; published 10.10.2012, Bulletin No. 28. (in Russian)
7. Besekerskii V. A., Popov E. P. Theory of systems of automatic control. The edition 4 processed and added. — St. Petersburg, 2003. 752 p. (in Russian)
8. Way of automatic control of the air conditioning system: demand for the invention 2014145500 Russian Federation: MPK8 F 24 F 11/06 / N. V. Kochenkov, V. N. Kochenkov; applicant WA MTO of A. V. Hrulev, declared 12.11.2014. (in Russian)
9. Rymkevich A. A., Khalameizer M. B. Control of air conditioning systems. — М.: Mashinostroenie, 1977. 280 p. (in Russian)
10. Rymkevich A. A. System analysis of optimization of all-exchange ventilation and air conditioning. — St. Petersburg, AVOK, 2003. 271 p. (in Russian)
11. Kochenkov N. V. Development of methodical basis of ACS design for rooms with heat loads of different types. *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No 3. p. 48–52. (in Russian)
12. Kochenkov N. V. System approach to optimization of hard currency in rooms with various loadings. / Ventilation of public and industrial buildings. Collection of reports on March 29, 2013. p. 45–50. (in Russian)
13. 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)
14. Kochenkov N. V., Nemirovskaya V. 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)
15. Tsygankov A. V., Gritmitlin A. M. SDevelopment of air-conditioning systems: current status and prospects. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013. No 4. p. 47–50. (in Russian)

References

1. Sotnikov A. G. Automation of air conditioning systems and ventilation. — L.: Stroizdat, 1984. 249 p. (in Russian)
2. Nefelov S. V., Davydov Yu. S. Technology of automatic control in systems of ventilation and air conditioning. — М.: Stroizdat, 1984. 328 p. (in Russian)
3. Bondar E. S., Gordienko A. S., Mikhailov V. A., Nimich G. V. Automation of systems of ventilation and air conditioning. — Kiev: Avanpost Prim, 2005. 561 p. (in Russian)
4. Kochenkov N. V. Energy saving modes of air conditioning systems. Part 1. The hard currencies serving rooms with one-characteristic loadings. Monograph. — St. Petersburg, 2009. 399 p. (in Russian)
5. Way of automatic control of air parameters: Patent Russian Federation of 2350850: MPK7 F 24 F 11/00 / A. A. Rymkevich,

Статья поступила в редакцию 20.03.2015



The 16th China International Food Exhibition And Guangzhou Import Food Exhibition 2016

Date: Jun. 29th - Jul. 1st, 2016 Venue: China Import And Export Fair Complex, Area B

Выставка IFE China 2016 проводится с 29 июня по 1 июля в городе Гуанчжоу, Китай.

Тематика выставки:

Напитки, хранение и заморозка, продукты питания, технологии обработки, пищевые ингредиенты.

Организатор: Guangzhou Yifan Exhibition Service Co., Ltd.

Контакты: Tel: +86-20-61089350, fax: +86-20-61089459

E-mail: ifechina@foxmail.com

<http://www.ifechina.com>