

УДК 644.1+004.9:517.9

**В. В. Бушер, Л. В. Мельникова**, кандидаты техн. наук

### **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

*Выполнен синтез системы управления микроклиматом, построенной по принципу подчиненного регулирования координат, с использованием нечеткой логики для получения заданных динамических и статических показателей при вариациях параметров объектов управления.*

*Ключевые слова:* нечеткая логика, системы управления, климатические установки.

**V. V. Buser, PhD., L. V. Melnikova, PhD.**

### **APPLICATION OF FUZZY-LOGIC IN THE CLIMATIC CONTROL SYSTEMS**

*The synthesis of control system of microclimate, built according to the principle of the subordinate of the regulation of coordinates, is executed with the use by FUZZY-LOGIC for obtaining the assigned dynamic and static indices when the parameters of the objects of control are variable.*

*Keywords:* fuzzy-logic, climatic control system.

**В. В. Бушер, Л. В. Мельникова**, кандидаты техн. наук

### **ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ В КЛІМАТИЧНИХ УСТАНОВКАХ**

*Виконано синтез системи керування мікрокліматом, побудованої за принципами підпорядкованого керування, з використання нечіткої логіки для отримання заданих динамічних і статичних показників за умови варіацій параметрів об'єктів керування.*

*Ключові слова:* нечітка логіка, системи керування, кліматичні установки.

**Введение.** Климатические установки – от простейших систем подготовки приточного воздуха до сложных многозональных систем с пассивной и активной рекуперацией тепла – становятся неотъемлемым элементом в современных жилых помещениях. Повышение точности, быстродействия работы таких установок способствует обеспечению комфортных условий, повышению их энергетической эффективности. Современный уровень развития микропроцессорной техники позволяет реализовать сложные алгоритмы управления климатическими установками с согласованным регулированием различных координат и учетом внешних возмущающих воздействий. К наиболее значимым из воздействий можно отнести изменение параметров воздуха окружающей среды, включение/отключение внутренних неуправляемых источников тепла (оргтехника), изменение количества людей в помещении. Важно отметить, что эти воздействия с точки зрения системы управления могут изменять параметры объекта управления, что приводит к изменению динамических и статических характеристик системы.

Кроме того, для синтеза параметрических систем управления с ПИ- и ПИД-регуляторами необходимо знать параметры объекта управления или диапазон их изменения. Тогда синтез регуляторов осуществляется, как правило, для некоторых предельных с точки зрения устойчивости значений параметров [4]. Основанная на этих данных настройка регуляторов в контроллерах, например, ОВЕН (Россия), или применение усредненных настроек для двух-трех типов помещений, как это реализовано в контроллерах SIEMENS, THEBEN (Германия), приводит в процессе эксплуатации к неоправданно затянутым переходным процессам либо существенному (в несколько градусов) перерегулированию. А так как процессы длительные (десятки минут), то возникает ощущение дискомфорта. Адаптация регуляторов по рекомендациям производителей требует значительных затрат времени наладчика.

Решение проблемы может быть обеспечено путем построения систем управления на основе нечеткой логики, что хорошо зарекомендовало себя в некоторых современных кондиционерах (Mitsubishi Electric, LG) [2]. Такие системы хорошо реагируют

© Бушер В.В., Мельникова Л.В., 2012

на многообразные сочетания внешних воздействий, что определяется базой правил, заложенных производителем. Качественные показатели систем зависят, прежде всего, от динамических и статических характеристик замкнутых контуров поддержания регулируемых координат, определяемых параметрами функций принадлежности. Их настройка требует высокого уровня квалификации наладчика и затрат его времени.

**Цель работы** – создание базы правил и подбор функций принадлежности, входных и выходных координат нечетких регуляторов (FLC) так, чтобы настройка системы управления микроклиматом в помещении могла осуществляться за короткое время коррекцией минимального количества параметров.

**Материалы и результаты исследования.** В качестве объекта управления рассмотрим систему приточно-вытяжной вентиляционной установки с системой активной утилизации тепла, работающей в различных режимах: охлаждение или подогрев, вентиляция или кондиционирование [1]. Такая система с точки зрения происходящих в ней процессов теплообмена и, соответственно, математического описания является наиболее сложной. Поэтому полученные для нее выводы могут быть распространены и на более простые системы: без рекуператоров или с пассивными рекуператорами.

По результатам идентификации обслуживаемого помещения, каналов вентиляции с конденсатором (нагревателем) и испарителем (охладителем) получена система уравнений, определяющих перегрев/охлаждение воздуха по отношению к температуре окружающего воздуха. Некоторые из них могут рассматриваться как описание дробно-аперiodических звеньев [3]:

$$\left( \frac{\tau_{in}^{\mu}}{v^* + \lambda_{in}} p^{\mu} + 1 \right) \Delta T_{in} = \Delta T_{in-n} \frac{\sum_{i=1}^n P_{in_i}^*}{v^* + \lambda_{in}},$$

$$\begin{aligned} & \left( \tau_h^{\mu} \frac{\tau_{ch}}{v^* + \lambda_{ch}} p^{1+\mu} + \tau_h^{\mu} p^{\mu} + 1 \right) \Delta T_{cond} = \\ & = \Delta T_{cond-n} \frac{P_{cond}^*}{v^* + \lambda_{ch}}, \\ & \left( \tau_h^{\mu} \frac{\tau_{ch}}{v^* + \lambda_{ch}} p^{1+\mu} + \tau_h^{\mu} p^{\mu} + 1 \right) \Delta T_{evap} = \\ & = \Delta T_{evap-n} \frac{P_{evap}^*}{v^* + \lambda_{ch}}, \\ & \Delta T_{cond} = T_{cond} - T_{ex} \text{heat} - T_{in} \text{cool}, \\ & \Delta T_{evap} = T_{evap} - T_{ex} \text{cool} - T_{in} \text{heat}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta T_{in}, \Delta T_{cond}, \Delta T_{evap}$  – изменение температуры воздуха в помещении и каналах вентиляции;  $P^*, P_{in_i}^*$  – относительная тепловая мощность, отдаваемая источниками тепла/холода;  $\tau_h, \tau_{ch}, \tau_{in}$  – постоянные времени, обусловленные теплоемкостью теплообменного агрегата, воздуха в канале вентиляции, воздуха и предметов интерьера в помещении;  $\mu \in [0, 5; 1]$  – порядок дробно-дифференциального уравнения;  $v^*$  – относительная скорость воздуха; *heat, cool* – логические сигналы, определяющие режим работы установки (нагрев, охлаждение);  $T_{ex}, T_{in}$  – температура наружного и внутреннего воздуха,  $T_{cond}, T_{evap}$  – температура на выходе вентиляционных каналов, которые в зависимости от типа установки и режима работы совпадают с температурой приточного  $T_{ch}$  или удаляемого воздуха  $T_{out}$ ;  $\Delta T_{cond-n}, \Delta T_{evap-n}, \Delta T_{in-n}$  – номинальный перегрев/охлаждение воздуха при текущих условиях окружающей среды и номинальной мощности источника тепла и номинальной производительности вентиляционной установки;  $\lambda_{ch}, \lambda_{in}$  – коэффициенты тепловых потерь через стенки вентиляционных каналов и помещения.

Для поддержания заданной температуры в помещении при необходимой производительности вентиляционной установки синтезируем систему управления (рис. 1), которая будет решать несколько задач.

1. Поддержание температуры в помещении на заданном уровне путем регулирования мощности нагревателя/охладителя в канале приточной вентиляции и внутренней системы отопления.

2. Управление скоростями приточного и вытяжного вентиляторов так, чтобы обеспечить достаточный воздухообмен и ограничивать температуру приточного воздуха в комфортных пределах.

Система управления построена по принципу подчиненного регулирования координат с двумя нечеткими регуляторами  $FLCT_{in}$  и  $FLCT_{ch}$  с идентичными входными сигналами и базой правил. Используются по два входных сигнала – отклонение температуры от заданного значения и ее производная. Дискретные значения отклонения температуры в помещении от заданной  $T_{in\_set}^* - T_{in}^*$  подается через усилитель и блок ограничения, определяющие допустимый диапазон отклонения температуры от заданной ( $\pm 1...3\text{ }^\circ\text{C}$ ). Разность  $T_{ch\_set}^* - T_{ch}^*$  нормируется так, чтобы температура приточного воздуха изменялась в пределах  $+15...+75\text{ }^\circ\text{C}$ . Дискретные разности первого порядка  $T_{in_i}^* - T_{in_{i-1}}^*$ ,  $T_{ch_i}^* - T_{ch_{i-1}}^*$ , соответствующие производным температуры воздуха в помещении  $dT_{in}/dt$  и в приточном канале  $dT_{ch}/dt$ , получены с использованием блоков задержки на один такт *Unit Delay*. Контроль температуры приточного воздуха  $T_{ch}^*$  необходим для обеспечения комфортных условий и защиты от перегрева и переохлаждения. Выходные сигналы нечетких регуляторов подаются на интеграторы с регулируемым коэффициентом в диапазоне  $0,05...1$ , что обеспечивает отсутствие ошибки в установившихся режимах и возможность адаптации системы к объектам с различными постоянными времени.

Вторую задачу решает селектор сигналов (*Selector HV*), который в зависимости от уровня выходного сигнала интегратора одновременно управляет мощностью нагревателя/охладителя  $P^*$  и уменьшает ско-

рость вентиляторов  $v^*$ , если номинальной мощности нагревателя недостаточно для изменения температуры подаваемого потока воздуха. Сигнал управления нагревателем/охладителем в приточном канале одновременно может подаваться на систему отопления/кондиционирования внутри помещения.

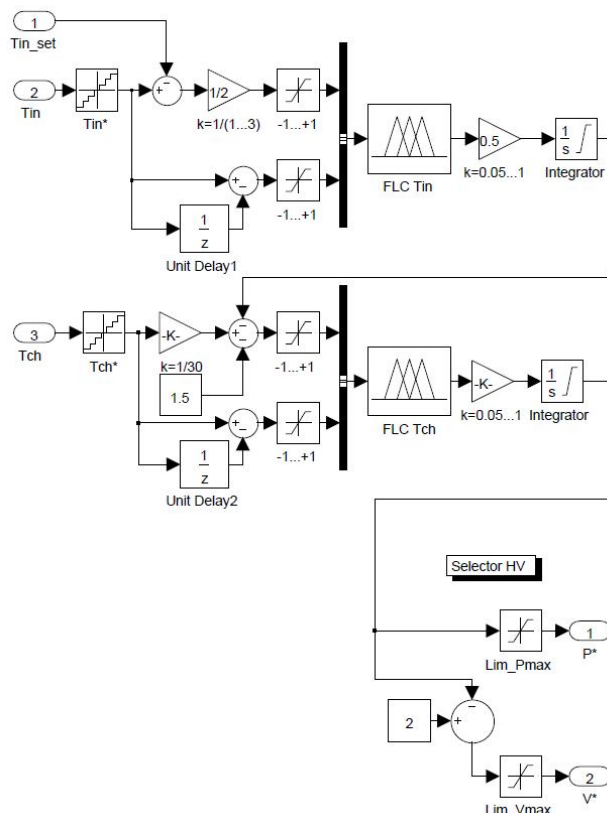


Рис. 1. Модель системы управления с нечеткими регуляторами

Фаззификация входных переменных и выходного сигнала осуществляется пятью  $S$ -,  $Z$ - и  $\Pi$ -функциями принадлежности типа *gaussmf1* с равномерным распределением на нормированных диапазонах изменения переменных  $[-1; +1]$ . Отрицательным значениям  $mf1$ ,  $mf2$  соответствуют лингвистические понятия «холодно», «остывает», «уменьшается», положительным  $mf4$ ,  $mf5$  – «жарко», «нагревается», «увеличивается», функция принадлежности  $mf3$  соответствует установившемуся процессу [5].

База правил составлена следующим образом:

1. if ( $IN$  is mf1) then ( $OUT$  is mf5);
2. if ( $IN$  is mf5) then ( $OUT$  is mf1);
3. if ( $IN$  is mf2) and ( $dIN / dt$  is mf2) then ( $OUT$  is mf5);
4. if ( $IN$  is mf4) and ( $dIN / dt$  is mf4) then ( $OUT$  is mf1);
5. if ( $IN$  is mf3) and ( $dIN / dt$  is mf3) then ( $OUT$  is mf3);
6. if ( $IN$  is mf3) and ( $dIN / dt$  is mf2) then ( $OUT$  is mf4);
7. if ( $IN$  is mf3) and ( $dIN / dt$  is mf4) then ( $OUT$  is mf2).

Поверхность отклика регуляторов  $OUT = f(IN, dIN / dt)$ , формируемая блоком дефазификации с методом *centroid* по алгоритму *Mamdani*, показана на рис. 2.

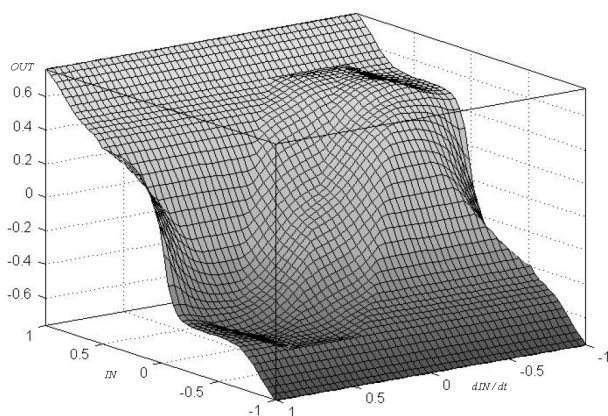


Рис. 2. Поверхность отклика  
 $OUT = f(IN, dIN / dt)$

Такая база правил позволяет свести настройку системы к подбору трех параметров – допустимого диапазона отклонения температуры помещения от заданного значения и коэффициентов усиления интеграторов.

С помощью разработанных моделей были выполнены расчеты переходных процессов для основных режимов работы исследуемой системы. Возмущающим воздействием в системе являлись скачки на  $2^{\circ}C$  температуры окружающего воздуха

каждые 2000 с, начиная с  $t = 1000$  с. Также смоделировано квантование по уровню датчиков температуры  $\delta T = 0,0625^{\circ}C$  (соответствует применению широко распространенных цифровых датчиков DS18B20 или стандартных датчиков PT100, PT1000 с 12-ти разрядными АЦП в контроллерах) и квантование во времени с периодом  $T_0 = dt^* = 1c$ , что становится причиной автоколебаний в системе в квазиустановившемся режиме.

На рис. 3, а показаны графики изменения температуры в помещении  $T_m$  до заданной  $+20^{\circ}C$  при некоторых номинальных параметрах объекта с вентиляционной установкой с активной рекуперацией тепла в режиме нагрева. В этом режиме температура приточного воздуха  $T_{ch} = T_{cond}$ , а удаляемого вытяжным каналом –  $T_{out} = T_{evap}$ .

Синтезированная система управления с FUZZY LOGIC за счет согласованного управления вентиляторами и нагревателями обеспечивает наиболее быстрое достижение заданной температуры при запуске системы, возмущающее воздействие компенсируют соответствующие изменения температуры приточного воздуха. На рис. 3,б показаны аналогичные переходные процессы при отклонении параметров объекта управления от расчетных – эквивалентный коэффициент усиления объекта и постоянные времени увеличены в два раза. Очевидно, что принципиальных изменений не возникает – температура в помещении поддерживается на заданном уровне с погрешностью не более  $\pm 1^{\circ}C$ .

**Выводы.** Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанный блок нечетких регуляторов в качестве ядра систем управления климатическими установками. Системы с нечеткой логикой обладают удовлетворительной точностью и при заранее записанной базе правил и определенных функциях принадлежности требуют минимальных затрат времени при настройке и сохраняют работоспособность в широком диапазоне изменений параметров объектов.

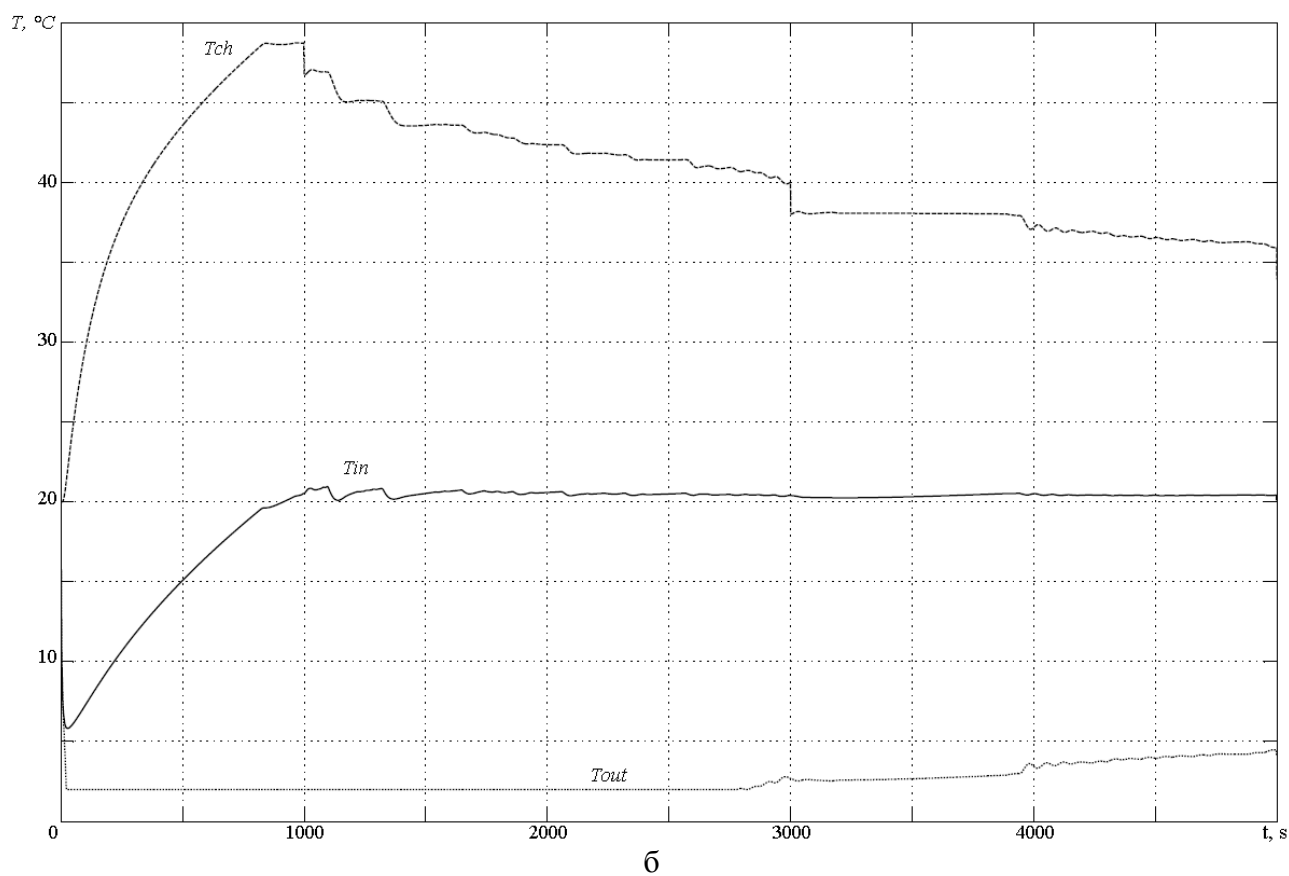
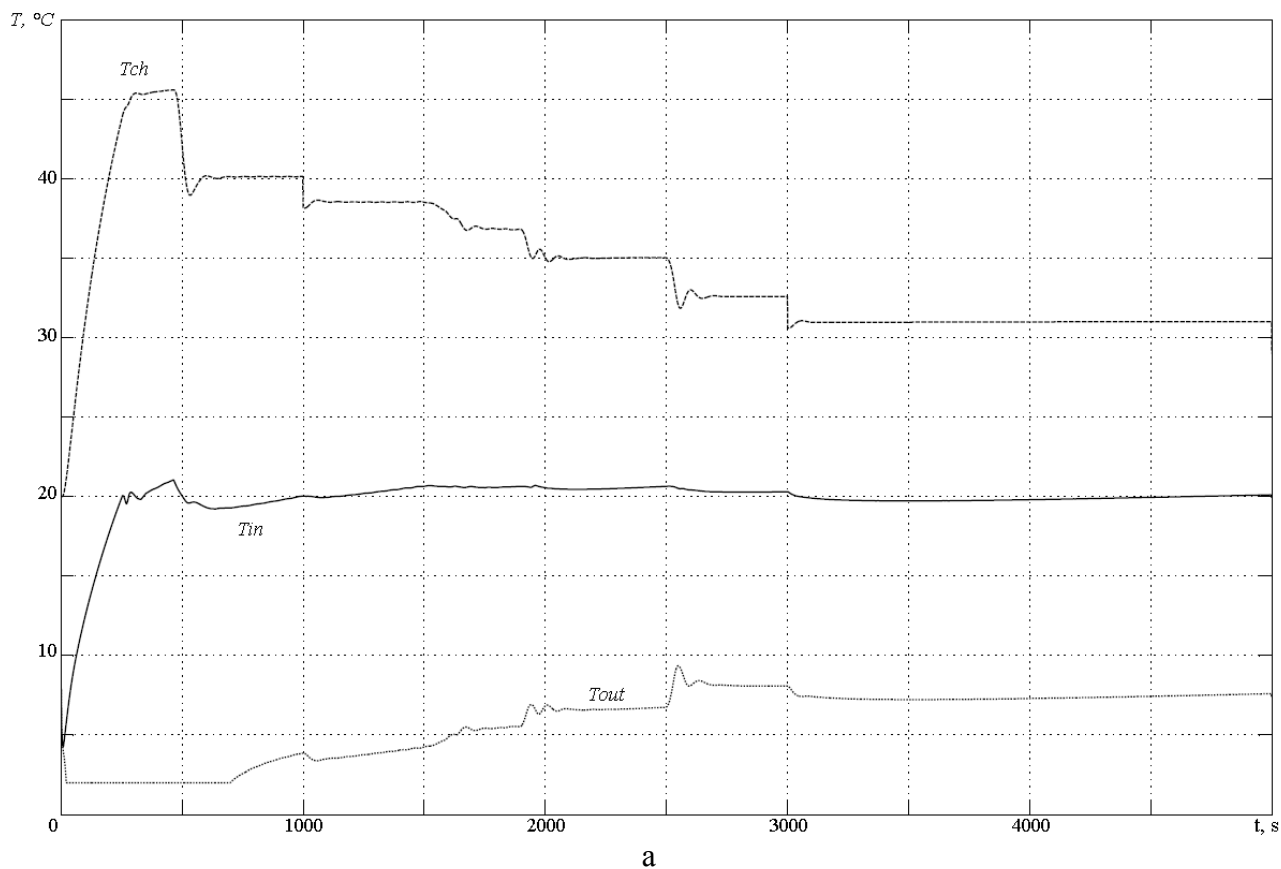


Рис. 3. Графики переходных процессов при номинальных (а) и измененных (б) параметрах объекта управления

### Список использованной литературы

1. Аверьянова О. В. Климатические системы с тепловыми насосами и водяным контуром / О. В. Аверьянова // Инженерно-строительный журнал. – СПб.: – 2009. – № 2. – С.19–22.

2. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учеб. пособие] / Е. С. Бондарь и др. – К: Аванпост-Прим, 2005. – 560 с.

3. Бушер В. В. Сравнительный анализ систем управления климатическими установками / В. В. Бушер // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ.– 2012. – Вып. 1/2012(17) – С.138–142.

4. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е. В. Стефанов – СПб.: АВОК Северо-Запад, – 2005. – 400 с.

5. Rutkowska D. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte / D. Rutkowska, M. Pilinski, L. Rutkowski. – Warszawa: Naukowe PWN, – 1999. – 452 p.

4. Stephanov E. V. Ventilation and air conditioning / E. V. Stephanov/ – St. Petersburg: AVOK North–West, – 2005. – 400 p. [in Russian].

5. Rutkowska D. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte / D. Rutkowska, M. Pilinski, L. Rutkowski // Naukowe PWN, Warszawa: – 1999. – 452 p. [in Poland].



Бушер  
Виктор Владимирович,  
к.т.н, доц. каф. ЭМС КУ  
Одесского нац. политехн.  
ун-та,  
т.+38(050)3908809



Мельникова  
Любовь Васильевна,  
к.т.н, доц. каф. ЭМС КУ  
Одесского нац. политехн.  
ун-та,  
т.+38(067)9494290

Получено 25.06.2012

### References

1. Averyanova O. V. Climatic systems with Climatic systems with the heat pumps and the water outline / O. V. Averyanova // Construction engineering periodical. – St.Petersburg: – 2009. – No 2. – P.19–22 [in Russian].

2. Automation HVAC. / E. S. Bondar – Kiev: Avanpost–Prim, – 2005. – 560 p. [in Russian].

3. Busher V.V. Comparative analysis of the climatic control systems / V. V Busher // Electromechanic and energosaved systems. – Kremenchug. – 2012. – No 01/2012(17). – P. 138–142 [in Russian].