

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Д.И. Кузнецов, А.И. Купин

Криворожский национальный университет

INFORMATION SYSTEM OF INTELLECTUAL CONTROL OF MICROCLIMATE IN PREMISES

D.I. Kuznetsov, A.I. Kupin

Krivoy Rog National University

Рассмотрены принципы построения информационной интеллектуальной системы регулирования микроклимата помещений на основе требований и пожеланий находящихся там субъектов, позволяющей обеспечить эффективное управление энергосберегающими системами.

Ключевые слова: интеллектуальная система, микроклимат помещения, экспертная система.

Principles of creation of information intelligent indoor climate control systems based on the requirements and wishes of the subjects are discussed. They allow the effective management of energy-saving systems.

Keywords: intelligent system, indoor climate, expert system.

Введение

Современные системы обеспечения микроклимата жилых и производственных помещений невозможно представить без систем автоматизированного управления (САУ). Применяя САУ возможно оптимизировать работу климатического оборудования, снижая расходы на эксплуатацию, например, за счет уменьшения энергопотребления [2].

Необходимость снижения энергопотребления также обусловлена постоянно растущей тенденцией к удорожанию, и, в последствии, экономии энергоресурсов [1]. В системах обеспечения микроклимата помещений, как результат, возникает необходимость использования современного энергосберегающего оборудования и проведения различных организационных мероприятий. С точки зрения организации энергосберегающих мероприятий можно выделить управляемые процессы автоматического регулирования температуры в зависимости от времени суток, дня недели, прерывистого отопления и т. д.

Использование современного энергосберегающего оборудования является неотъемлемым требованием при организации систем автоматического регулирования микроклимата, что, в свою очередь, позволяет обеспечить необходимый и точный уровень регулирования, например, температуры и влажности воздуха.

С точки зрения жилых помещений, таких как частные дома, квартиры или коттеджи, система микроклимата, в первую очередь, призвана организовывать комфортные условия для пребывания человека в помещении. Она должна помогать поддерживать комфортную для жильцов

температуру и влажность. В свою очередь, для каждого человека существуют свои комфортные параметры климата, так как некоторые люди привыкли к прохладе, а другие – к теплу.

Процесс настройки и поддержания комфортных условий проживания для одного человека является довольно простым, так как учитываются параметрические особенности одного субъекта [4]. В случае учета особенностей нескольких субъектов, возможность комфортного регулирования микроклимата должна содержать сложные алгоритмы подстройки оборудования, в противном случае может стать практически невозможной.

Цель данной статьи – разработка структуры информационной системы интеллектуального регулирования микроклимата (ИСИРМ) жилых помещений с учетом особенностей и пожеланий всех проживающих, упрощение процесса регулирования и автоматической подстройки под потребности каждого или группы субъектов.

1 Информационная система интеллектуального регулирования микроклимата

Реализация решения поставленной задачи сводится к трудностям, возникающим при использовании различной логики отдельных элементов, которые являются составной частью систем обеспечения микроклимата. Часть существующих контроллеров имеют жесткую логику и при проектировании САУ не позволяют выйти за пределы заводских настроек. Также в свободно программируемых контроллерах практически невозможно прописать алгоритм, который будет решать поставленную задачу.

На основе анализа существующих решений регулирования микроклимата в помещениях можно выделить следующие варианты при создании алгоритма регулирования [2]:

а) выполнение анализа параметров наружной среды и микроклимата, в результате чего выбирается заранее запрограммированный алгоритм;

б) информационная система сама просчитывает различные комбинации схемных решений и сама выбирает из них наиболее оптимальные.

В общем случае процесс интеллектуального регулирования микроклимата в помещении имеет вид, представленный на рисунке 1.1, где T – температура, P – давление, ϕ – относительная влажность, полученная с внутренних и внешних датчиков помещения. Блок управления представляет собой экспертную систему, которая «обучается» на протяжении всей своей работы, то есть пополняет или корректирует свою базу знаний в зависимости от изменений внутренних или внешних факторов помещения, учета дней недели или сезона года, в котором она работает. В качестве исполнительных устройств выступают радиаторы, кондиционеры и вентиляторы.

Следует отметить, что главным условием правильной и корректной работы ИСИРМ является наличие соответствующих исполнительных

устройств. Например, в качестве отопительных приборов следует использовать вместо привычных чугунных радиаторов, которым свойственна большая инерционность, стальные, алюминиевые или биметаллические [1].

Главным недостатком существующих информационных систем интеллектуального регулирования микроклимата является отсутствие возможности автоматической подстройки температурных параметров микроклимата помещения под каждого субъекта.

Авторами предложена структура ИСИРМ которая позволяет автоматически изменять микроклимат помещения на основе пожеланий субъектов и их времени пребывания (рисунок 1.2).

Блок «Выбор благоприятных условий микроклимата» является выбором соответственных значений влажности и температуры субъектом в соответствующем помещении (например, в кухне, зале, ванной и т. д.). Блок «Идентификация субъекта в помещении» регистрирует время и продолжительность нахождения субъекта в соответствующем помещении. Структурная схема данного блока имеет следующий вид, показанный на рисунке 1.3.



Рисунок 1.1 – Структурная схема процесса регулирования микроклимата

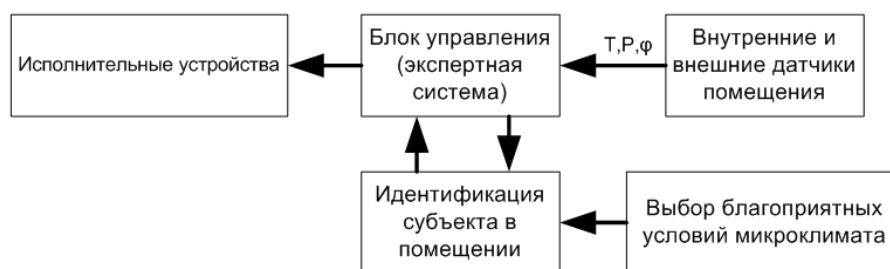


Рисунок 1.2 – Усовершенствованная схема ИСИРМ



Рисунок 1.3 – Схема идентификации субъекта ИСИРМ

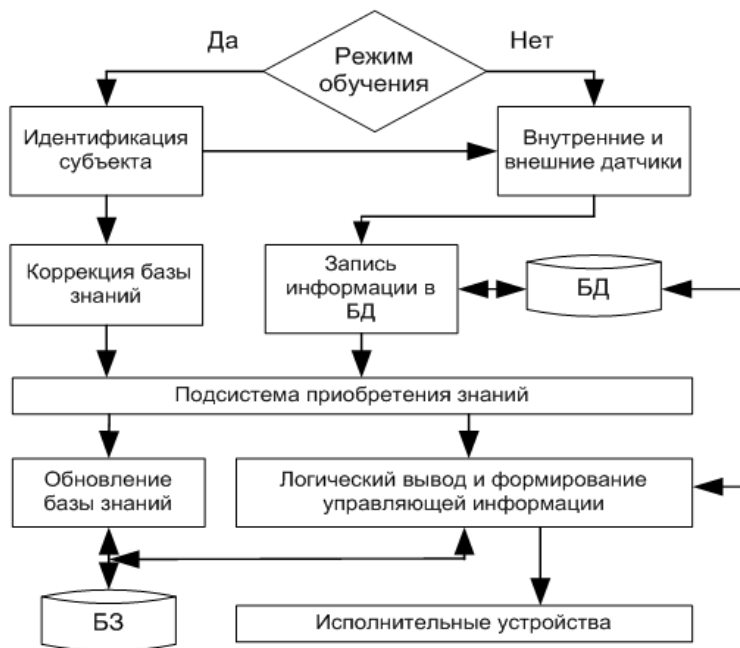


Рисунок 1.4 – Логико-функциональная схема работы экспертной системы

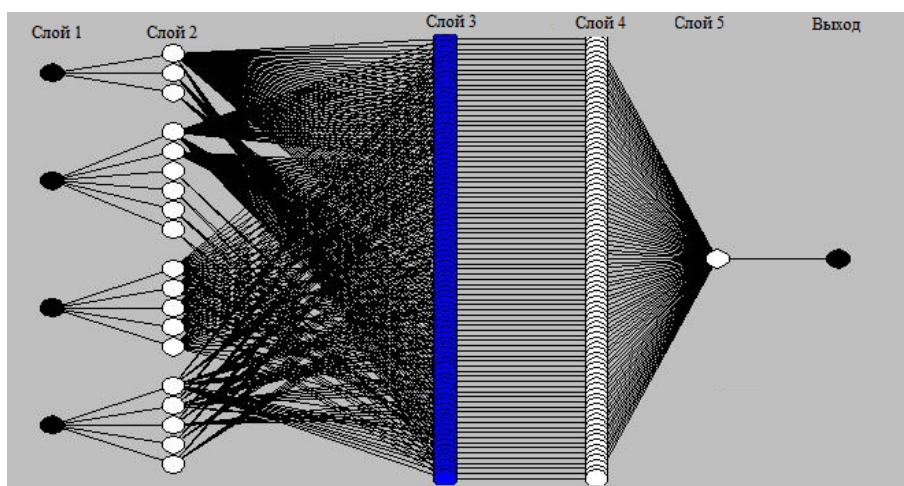


Рисунок 1.5 – Структура нейро-нечеткой сети системы нечеткого вывода

Каждый из субъектов при входе или выходе из помещения должен регистрироваться с помощью RFID считывателя, в результате чего соответствующая информация сохраняется в БД экспертной системы. На рисунке 1.4 показана логико-функциональная схема работы экспертной системы.

Для реализации блока «Логический вывод и формирование управляющей информации» предложено использовать адаптивную систему нейро-нечеткого вывода. Данная система позволяет автоматически формировать управляющую информацию для регулирования микроклимата помещений в зависимости от пожеланий субъектов, обобщая информацию о времени и месте их пребывания в разные периоды времени. Моделирование процессов управления выполнено в среде MatLab с пакетом расширения Fuzzy Logic Toolbox [6].

Блок «Логический вывод и формирование управляющей информации» формирует управляющее воздействие на элементы исполнительных устройств поддержания микроклимата в помещении (механизм сервопривода крана батареи, реле включения кондиционера и вентиляции), изменяя температуру окружающего воздуха T и относительную влажность φ .

Целью управления является воздействие на элементы управления исполнительных устройств, т. е. закрытие или открытие крана батареи, а также включение или выключение кондиционера. Управляющее воздействие формируется на основе данных о рассогласовании между заданной и текущей температурой в помещении.

Блок «Логический вывод и формирование управляющей информации» содержит систему нечеткого вывода – для управления краном батареи

и реле включения кондиционера. Данная система представлена в виде нейро-нечеткой пятислойной сети прямого распространения сигнала (рисунок 1.5). Сеть реализует систему нечеткого вывода типа Сугено нулевого порядка, имеет четыре входные переменные:

- IVG – время года (время отопительного сезона или нет);
- IT – текущее время дня;
- ICO – температура окружающей среды;
- ICZ – заданная температура.

Выходом сети является лингвистическая переменная OU , которая, в зависимости от значений входных переменных, формирует управляющую информацию для исполнительных устройств, т. е. включение/выключение сервопривода крана батареи или реле включения кондиционера.

Для лингвистической оценки входной переменной IVG используется три термина, для переменной IT – 6 термов, для переменной ICO – 5 термов и для переменной ICZ – 5 термов. В качестве терм-множества первой лингвистической переменной IVG используется множество $T_{IVG} = \{\text{«отопительный сезон}_1\text{»}, \text{«не отопительный сезон»}, \text{«отопительный сезон}_2\text{»}\}$, которое записывается в символическом виде как $T_{IVG} = \{IVGZ1, IVGL, IVGL2\}$. В качестве терм-множества второй лингвистической переменной IT используется множество $T_{IT} = \{\text{«ранее утро»}, \text{«утро»}, \text{«полдень»}, \text{«вечер»}, \text{«поздний вечер»}, \text{«ночь»}\}$, которое записывается в символическом виде как $T_{IT} = \{ITR, ITU, ITP, ITV, ITPV, ITN\}$. В качестве терм-множества третьей лингвистической переменной ICO используется множество $T_{ICO} = \{\text{«холодно»}, \text{«прохладно»}, \text{«комфортно»}, \text{«жарко»}, \text{«очень жарко»}\}$, которое записывается в символическом виде как $T_{ICO} = \{ICOH, ICOP, ICOK, ICOJ, ICON\}$. В качестве терм-множества четвертой лингвистической переменной ICZ используется множество $T_{ICZ} = \{\text{«холодно»}, \text{«прохладно»}, \text{«комфортно»}, \text{«жарко»}, \text{«очень жарко»}\}$, которое записывается в символическом виде как $T_{ICZ} = \{ICZH, ICZP, ICZK, ICZJ, ICZN\}$. Терм-множество выходной лингвистической переменной OU составляет множество значений для исполнительных устройств $T_{OU} = \{U_j\}$, $j = 1, \dots, 5$. В зависимости от полученных значений можно выделить следующие режимы работы исполнительных устройств:

- U_1 – закрыть кран батареи;
- U_2 – открыть кран батареи;
- U_3 – ничего не делать;
- U_4 – включить кондиционер;
- U_5 – выключить кондиционер.

Слои нейро-нечеткой сети имеют следующее назначение (рисунок 1.5):

Слой 1. Определяет нечеткие термы входных параметров. Выходы этого слоя представляют значения функции принадлежности при конкретных значениях. Каждый узел слоя является

адаптивным с функцией принадлежности $\mu_{A_i}(\chi)$, где χ – i -го узла, $i = 1, \dots, n$; A_i – лингвистическая нечеткая переменная, ассоциированная с данным узлом. Для термов входных переменных выбраны трапециевидные функции принадлежности.

Слой 2. Определяет посылки нечетких правил. Данный слой – неадаптивный. Каждый узел соединен с теми узлами первого слоя, которые формируют предпосылки соответствующего правила. Выполняет нечеткую логическую операцию «AND» на параметрах посылок правила. Выходами нейронов этого слоя являются степени истинности посылок каждого j -го правила базы знаний системы, вычисленные по формуле:

$$w_j = \min \{ \mu_{IVG_j}(IVG), \mu_{IT_j}(IT), \mu_{ICO_j}(ICO), \mu_{ICZ_j}(ICZ) \},$$

где $j = 1, \dots, 200$ – определяет общее количество правил нечеткой системы вывода.

Слой 3. Осуществляет нормализацию степени выполнения правил. Неадаптивные узлы этого слоя рассчитывают относительную степень (вес) выполнения нечеткого правила по формуле:

$$\bar{w}_j = w_j / \sum_{j=1}^{200} w_j.$$

Слой 4. Четкое число U_j , задающее заключение каждого j -го правила, рассматривается как нечеткое множество с синглтонной функцией принадлежности. Адаптивные узлы четвертого слоя рассчитывают вклад каждого нечеткого правила в выход сети по формуле:

$$y_j = \bar{w}_j U_j, i = 1, \dots, 200.$$

Слой 5. Неадаптивный узел этого слоя суммирует вклады всех правил:

$$y = \sum_{j=1}^{200} y_j.$$

Программная реализация нейро-нечеткой сети получена в математическом пакете Matlab Fuzzy Logic с использованием программной m-функции ANFIS. Система нечеткого вывода была настроена автоматически. Параметры узлов сети при обучении настраивались таким образом, чтобы минимизировать стандартную ошибку (RMSE) на основе следующей зависимости:

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [v_p(i) - OU(i)]^2} \rightarrow \min,$$

где v_p – рассогласование между заданной и текущей температурой в помещении, N – количество наблюдений в выборке обучающих данных v_p .

В качестве алгоритма обучения сети ANFIS для определения параметров функции принадлежности был выбран метод обратного распространения ошибки, основанный на градиентном методе наискорейшего спуска.

Задачей подсистемы приобретения знаний (рисунок 1.4) является обновление базы знаний на основе полученной информации с датчиков, а

также она может быть откорректирована субъектом. Следует отметить, что экспертная система (ЭС) может находиться как в состоянии обучения, так и в обычном состоянии. Целью режима обучения является формирование блоком логического вывода управляющей информации для исполнительных устройств на основе информации, полученной от субъектов.

2 Анализ информационной интеллектуальной системы регулирования микроклимата помещения

Проведено моделирование работы предложенного подхода в информационной интеллектуальной системе регулирования микроклимата на основе использования системы нейро-нечеткого вывода с целью создания управляющей информации. Обучающая выборка получена на основе использования метода Монте – Карло. Начальное значение шага обучения в направлении антиградиента критерия E при изменении параметров функции принадлежности задано равным $\alpha = 10^{-4}$. Допустимое изменение величины шага за одну итерацию – 15%. Для обучения сети значение критерия обучения, в среднем, составило $E = 2,187$, после 500 итерации – $E = 0,159$. Зависимость значения ошибки обучения от количества данных обучающей выборки представлена на рисунке 2.1.

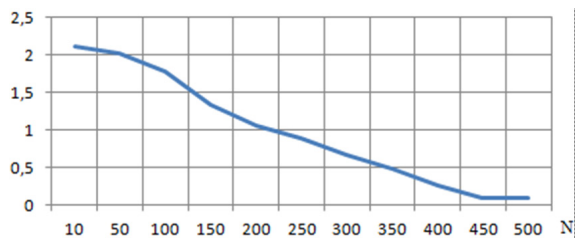


Рисунок 2.1 – Зависимость ошибки обучения от количества элементов обучающей выборки

При моделировании работы ИСИРМ подразумевалось, что используются современные стальные или биметаллические радиаторы, и проведены энергоэффективные мероприятия, например, утепление наружных стен, а также в помещении есть кондиционер.

Главной особенностью разрабатываемой ИСИРМ является подстройка микроклимата помещения под находящегося там субъекта с возможностью запоминания времени пребывания. В результате чего, в период времени, когда субъект (субъекты) отсутствуют или их выбранные температурные режимы совпадают, ИСИРМ способна уменьшить расходы используемого энергетического ресурса за счет уменьшения температуры воздуха в помещении. Результаты моделирования использования количества тепла для отопления помещения представлены на рисунке 2.2. В качестве энергетического ресурса для расчета количества потребляемого тепла был выбран природный газ. Параметр δ – среднеквадратическое отклонение выбранной температуры субъектами помещения. Например, для $\delta = 0,82$ диапазон выбранных температур составляет 18–19°C, для $\delta = 1,53$ диапазон выбранных температур составляет 18–20°C и т. д. В качестве единицы измерения используемого количества тепла были выбраны Гкал. Для достижения повышения температуры в помещении на 1°C в качестве нормы потребления тепла было принято 0,001 Гкал, основываясь на ранее рассмотренных расчетах [5]. То есть, из полученных данных, например, для поддержания средней температуры в помещении без используемой ИСИРМ необходимо в месяц потратить $0,001 \cdot 41,67 = 0,04$ Гкал (рисунок 2.2). Следует отметить, что под средней температурой помещения подразумевается температура, выбранная в качестве оптимальной для всех субъектов.

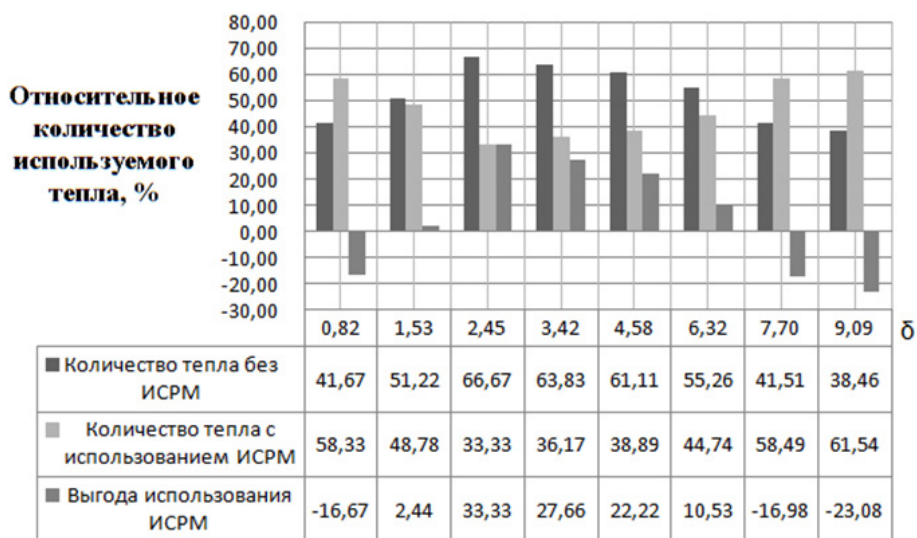


Рисунок 2.2 – Результаты моделирования работы ИСИРМ

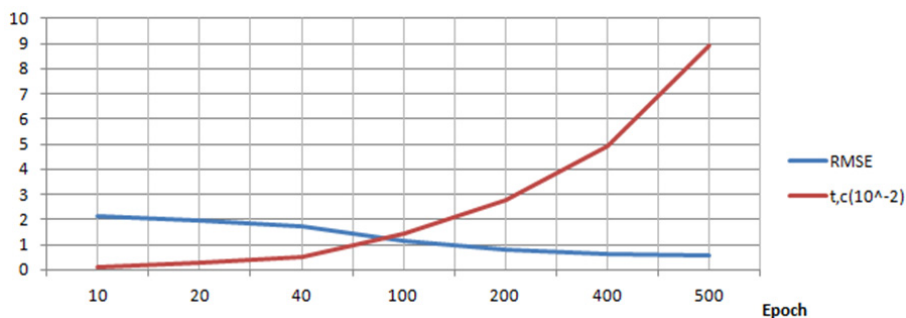


Рисунок 2.3 – Зависимость времени обучения от количества эпох

Из результатов моделирования видно, что при значении $\delta < 1$ или $\delta > 6.5$ использование ИСИРМ нерационально, так как происходит перерасход тепла, и соответственно, увеличивается количество затрат энергоресурса. При обучении нейро-нечеткой сети для достижения меньшего значения среднеквадратической ошибки обучения необходимо использовать обучающую выборку с большим значением входных данных или большее значение количества эпох обучения. Но с увеличением количества эпох обучения увеличивается общее время обучения нейро-нечеткой сети, что в свою очередь влияет на общую реакцию системы. Зависимость времени обучения от количества эпох представлено на рисунке 2.3. Значение N было выбрано равным 200, $E = 10^{-3}$, в качестве аппаратных ресурсов был выбран компьютер с процессором Intel Atom 1.5 Ghz, RAM = 2 Gb.

Из результатов видно, что при достижении минимального значения RMSE необходимо затратить большее время на обучение нейро-нечеткой сети. Поэтому целесообразно находить «золотую середину» по времени обучения, значению RMSE и количеству элементов входной выборки.

Заключение

На сегодняшний день интеллектуальные системы регулирования микроклимата являются неотъемлемой частью систем «умный дом». С учетом всех преимуществ и достижений современных методов, способов и информационных технологий регулирования микроклимата практически не существует систем, которые бы подстраивались автоматически под каждый субъект.

Использование предложенной интеллектуальной системы ИСИРМ позволит уменьшить в среднем до 23,4% количества используемого тепла для отопления помещения за счет учета желания поддержания комфортных условий в помещении. Данные условия достигаются за счет подстройки температуры на период пребывания субъекта в помещении, например, если человеку С1 комфортно при 18°C, а человеку С2 при 22°C,

причем С1 находится в помещении с 9.00 до 14.00, а С2 с 13.00 до 18.00, то ИСИРМ автоматически плавно подстраивает температуру под данных субъектов. Следует отметить, что если время пребывания субъектов совпадает, то выбирается среднее значение температуры.

Можно сделать вывод, что использование предложенной ИСИРМ дает возможность настроить благоприятные условия микроклимата под каждого субъекта помещения, а также уменьшить энергозатраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конох, И.С. Разработка и исследование интеллектуальной системы регулирования параметров микроклимата помещения / И.С. Конох, И.С. Гула, С.В. Сукач // Электромеханические и энергосберегающие системы. – Кременчуг: КНУ, 2010. – Вып. 3/2010 (11). – С. 80–85.
2. Мансуров, Р.Ш. Экспериментальное исследование переходных процессов в системах обеспечения микроклимата / Р.Ш. Мансуров // Сборник докладов 4-й международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогасоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2011. – С. 20–25.
3. Кувшинов, Ю.Я. Динамические свойства помещения с регулируемой температурой воздуха / Ю.Я. Кувшинов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1993. – № 4. – С. 87–91.
4. Управление микроклиматом [Электронный ресурс] / Мир автоматизации. – Москва, 2009. – Режим доступа: <http://www.soliton.com.ua/pr/MA-2009-Feb-Produal-small.pdf>. – Дата доступа: 20.01.2015.
5. Расчет Гкал на отопление [Электронный ресурс] / Гид по отоплению. – Москва, 2015. – Режим доступа: <http://otoplenie-gid.ru/operacii/raschet/364-raschet-gkal-na-otoplenie>. – Дата доступа: 19.01.2016.
6. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 288 с.

Поступила в редакцию 08.02.16.