

УДК 681.51

М. Ю. Подобед, Д. С. Карпович

Белорусский государственный технологический университет

БЛОК НЕЧЕТКОЙ СЕЛЕКЦИИ СИГНАЛОВ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

В силу дешевизны и простоты реализации наиболее распространенными системами управления кондиционированием воздуха являются схемы с расположением нескольких датчиков температуры в контрольных точках помещения. При такой схеме управления контроллер высчитывает и обрабатывает усредненное значение температуры в помещении. Подобные схемы обладают следующими существенными недостатками:

1) возможны такие режимы работы системы управления, при которых в одной части помещения возможен локальный недогрев воздуха, а в другой части – перегрев, в то время как усредненное значение температуры останется в допустимом диапазоне;

2) с увеличением количества точек измерения температуры воздуха в помещении происходит нивелирование частных значений сигналов обратных связей и снижение чувствительности системы управления в целом.

Целесообразно предусмотреть селекцию сигналов обратных связей, которая могла бы решить следующий ряд задач:

- 1) обеспечение непрерывного мониторинга температурного поля в помещении;
- 2) осуществление управления с учетом не только усредненного значения температуры в помещении, но и с учетом значений отклонений температур от среднего;
- 3) реализация гибких правил усреднения в зависимости от параметров объекта;
- 4) улучшение динамических характеристик системы кондиционирования воздуха;
- 5) практическая реализация и простота.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, блок селекции, нечеткая логика, обратная связь.

M. Yu. Podobed, D. S. Karpovich

Belarusian State Technological University

BLOCK OF FUZZY RECOVERY SIGNALS

Due to the cheapness and simplicity of implementation, the most common air-conditioning management systems are schemes with the arrangement of several temperature sensors in the control points of the room. With this control scheme, the controller calculates and processes the average value of the room temperature. Such schemes have the following significant drawbacks:

1) there are possible modes of operation of the control system, in which in one part of the room there is a local underheating of the air, and in the other part – overheating, while the average value of the temperature will remain within the permissible range;

2) with the increase in the number of points of measurement of the air temperature in the room, the leveling of particular values of the feedback signals and the decrease in the sensitivity of the control system as a whole.

It is advisable to provide for the selection of feedback signals, which could solve the following series of problems:

- 1) ensuring continuous monitoring of the temperature field in the room;
- 2) implementation of control taking into account not only the average value of the room temperature, but also taking into account the values of the deviations of temperatures from the mean;
- 3) implementation of flexible averaging rules depending on the parameters of the object;
- 4) improvement of the dynamic characteristics of the air conditioning system;
- 5) practical implementation and simplicity.

Key words: air conditioning system, selection unit, fuzzy logic, feedback.

Введение. При решении задач управления параметрами микроклимата на рабочих местах в помещении рассматривать объект в виде системы с сосредоточенными параметрами не всегда корректно. Параметры объекта (температура, влажность, концентрация вредных веществ и др.) под влиянием как внешних, так и внутренних

факторов, характеризуются пространственной протяженностью как по площади, так и по высоте помещения, а управляемая величина зависит не только от времени, но и от распределенности по пространственной области.

Рассмотрим задачу автоматического управления температурой на рабочих местах в про-

изводственном помещении. Пространственное и временное распределение температурного поля в помещении $\theta(x, t)$ зависит от времени t и вектора пространственных координат x . В силу простоты реализации и большой распространенности рассмотрим вариант сосредоточенного управления путем граничного управления плотностью внешнего теплового потока.

Целью системы автоматического управления процессом кондиционирования воздуха в помещении является получение с определенной точностью в некоторый конечный момент времени τ заданного распределения температурного поля $\theta(x, t)$ в контрольных точках пространства помещения после воздействия внешнего возмущения или смены температурного режима.

Ограничения, накладываемые на процесс управления температурой воздуха на рабочих местах, можно записать в следующем виде:

$$\max |\theta(x, t)| \leq \theta_{\text{доп}},$$

где $\theta_{\text{доп}}$ – допустимые значения температур на рабочих местах для каждой категории работ определяются СанПиНом «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» (2013).

Основные трудности, с которыми сталкиваются при управлении микроклиматом в помещении с учетом пространственной распределенности температурного поля:

- 1) проблема наблюдаемости – отсутствие возможности получения полной информации о распределении температурного поля в помещении;
- 2) интеграция информации с n количества точек измерения в систему каскадного сосредоточенного управления.

Проблема наблюдаемости. На практике полную информацию о распределении температурного поля в помещении получить невозможно, в силу невозможности использования бесконечно большого количества средств измерения температуры во всех точках помещения, как по площади, так и по высоте. Существуют методы приближенного определения распределения температурного поля в помещении по известным входным воздействиям и результатам измерения температуры в контрольных точках. Но данные методы требуют измерений дополнительных входных воздействий, наличия распределенной модели помещения – что усложняет систему управления и мало востребовано при практической реализации. Тем более что для некоторых классов помещений нет необходимости в определении распределения температурного поля по всему пространству, а лишь в определенных точках. Так, в соответствии с СанПиНом, измерения температуры в

производственных помещениях в целях контроля их соответствия гигиеническим требованиям должны проводиться на рабочих местах. Если рабочим местом являются несколько участков производственного помещения, то измерения осуществляются на каждом из них.

Интеграция информации с n точек измерения в систему каскадного сосредоточенного управления. В теории управления распределенными системами для этих целей предлагают использовать переходные ξ -блоки, преобразующие значения функции $\theta(x, t)$ в одной или n фиксированных точках и формирующие соответствующий сосредоточенный сигнал обратной связи. При нескольких точках измерения в качестве сосредоточенного выхода могут рассматриваться интегральные оценки функции состояния распределенной системы, например, среднее ее значение или соотношения, характеризующие реальный результат измерения функции состояния в окрестности точки расположения соответствующих датчиков.

На данный момент в системах управления микроклиматом применяется метод обработки сигналов обратных связей по нескольким каналам путем усреднения значений. Системы с усреднением температуры имеют следующие преимущества по отношению к системам автоматического управления (САУ) с контролем температуры в одной точке помещения или вытяжного воздуха (представление помещения в качестве объекта с сосредоточенными параметрами):

- 1) способны контролировать локальные изменения температур на конкретных рабочих местах в помещении;
- 2) уменьшено влияние на показания температуры в помещении различных видов нагрузок (в сравнении с системами контроля температуры по вытяжному воздуху);
- 3) частичная компенсация влияния запаздывания для помещений больших размеров.

Недостатки подобных систем:

- 1) возможны такие режимы работы, при которых на части рабочих мест в помещении может быть локальный недогрев воздуха, а на другой части – перегрев, в то время как усредненное значение температуры останется в допустимом диапазоне;
- 2) при большом количестве установленных в помещении датчиков температуры воздуха чувствительность системы управления снижается.

Критический анализ систем управления с усреднением значений температур по нескольким каналам показал, что, несмотря на простоту, данный метод не всегда может адекватно оценивать распределенное температурное поле в помещении. Поэтому целесообразно предусмотреть

селекцию сигналов обратных связей, которая могла бы решить следующий ряд задач:

- 1) обеспечение непрерывного мониторинга температурного поля в помещении;
- 2) осуществление управления с учетом не только усредненного значения температуры в помещении, но и с учетом значений отклонений температур от среднего;
- 3) реализация гибких правил усреднения в зависимости от параметров объекта;
- 4) улучшение динамических характеристик системы кондиционирования воздуха;
- 5) практическая реализация и простота.

В связи с большим количеством каналов измерения температуры и неопределенности в правилах селекции результирующего сигнала обратной связи целесообразным видится возможность синтеза блока селекции, функционирующего по гибким правилам нечеткой логики.

Реализация блока нечеткой селекции (БНС). В контур системы автоматического управления температурой в помещении встраивается блок нечеткой селекции (БНС), на вход которого подаются сигналы от датчиков температуры на рабочих местах в помещении. Обработывая входные сигналы по нечеткому алгоритму, БНС формирует эквивалентный выходной сигнал обратной связи, который подается на вход ре-

гулятора температуры. Структурная схема системы кондиционирования воздуха (СКВ) в помещении с БНС сигналов от четырех каналов обратных связей приведена на рис. 1.

Где U – выходной сигнал из регулятора; $U_{\text{кан}}$ – выходной сигнал от датчика температуры (канального); $U_{\text{жел}}$ – желаемое значение температуры приточного воздуха; ε , ε_{11} , ε_{22} , ε_{31} , ε_{33} , $\varepsilon_{\text{эжв}}$ – сигналы рассогласований; $t_{\text{в}}$ – температура приточного воздуха.

БНС состоит из следующих основных элементов: блоки вычисления сигналов рассогласований по каждому каналу обратной связи, блок фазификации, блок агрегатирования, блок активации, блок аккумуляции, блок дефазификации. Структурная БНС приведена на рис. 2.

В БНС вычисляются сигналы рассогласований ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$) между заданными (задание 1, задание 2, ..., задание n) и действительными значениями температур (T_1, T_2, \dots, T_n) на рабочих местах для каждого канала обратной связи. Если рабочие места, в которых происходит измерение температур, находятся в одном помещении, а категории выполняемых работ по уровню энергозатрат относятся к одной и той же категории, то желаемое значение температур для всех рабочих мест может иметь одинаковое значение.

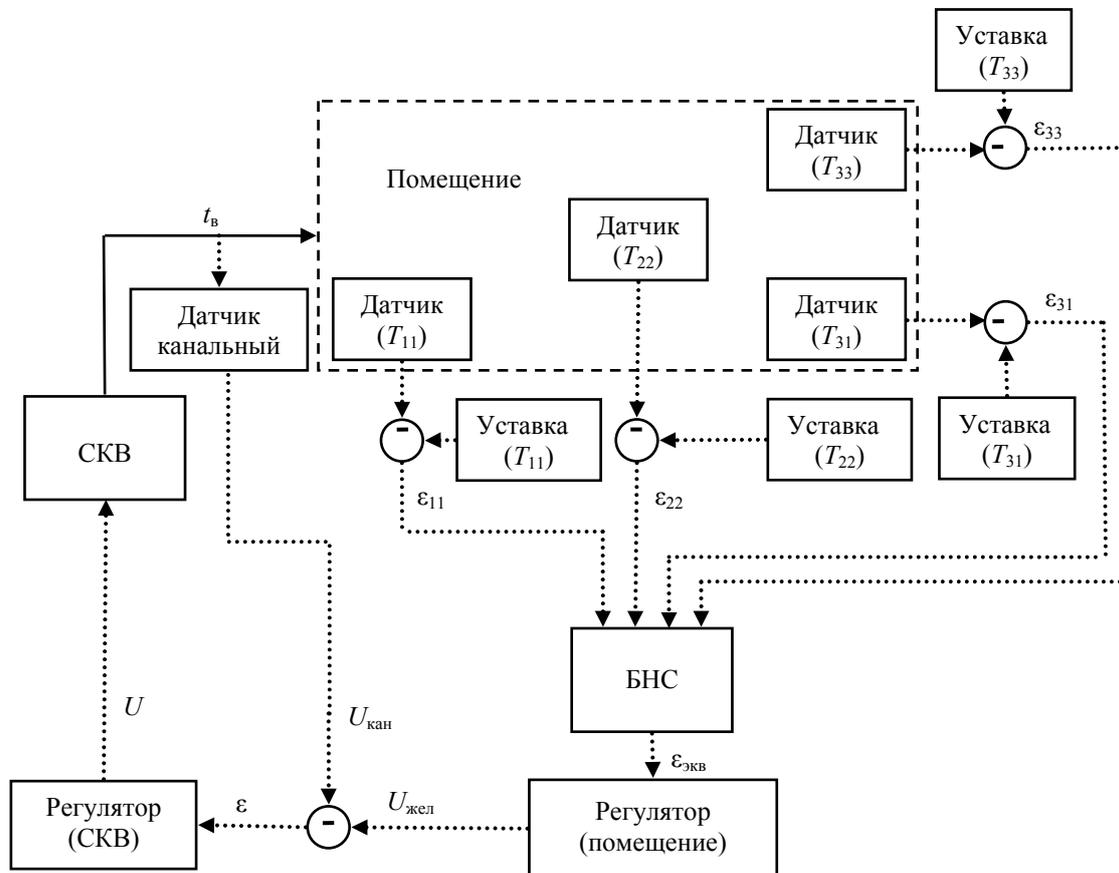


Рис. 1. Структурная схема системы с БНС

Затем вычисленные сигналы рассогласования для всех каналов обратных связей подвергаются фазификации (вычислению соответствия между численными значениями сигналов рассогласования и значением функций принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной). Далее по заранее определенным правилам нечеткого вывода в БНС осуществляется процедура определения истинности каждого из правил нечеткого вывода (агрегатирование) и нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечеткого вывода (активация). На стадии аккумуляции происходит нахождение функции принадлежности для выходной лингвистической переменной «эквивалентный сигнал рассогласования», которое преобразу-

ется в четкий выходной сигнал (дефазификация) ($\epsilon_{\text{ЭКВ}}$).

В зависимости от целей, преследуемых системой автоматического управления температурой в помещении, могут подвергаться изменению формы функций принадлежности входных сигналов рассогласований, и выходного эквивалентного сигнала рассогласования, численные диапазоны значений функций принадлежности, правила нечеткого вывода и дефазификации.

Рассмотрим помещение с четырьмя распределенными по площади рабочими местами с одинаковой категорией выполняемых работ по уровню энергозатрат (рис. 3). На каждом рабочем месте установлено по одному датчику измерения температуры, которые формируют четыре выходных значения (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4).

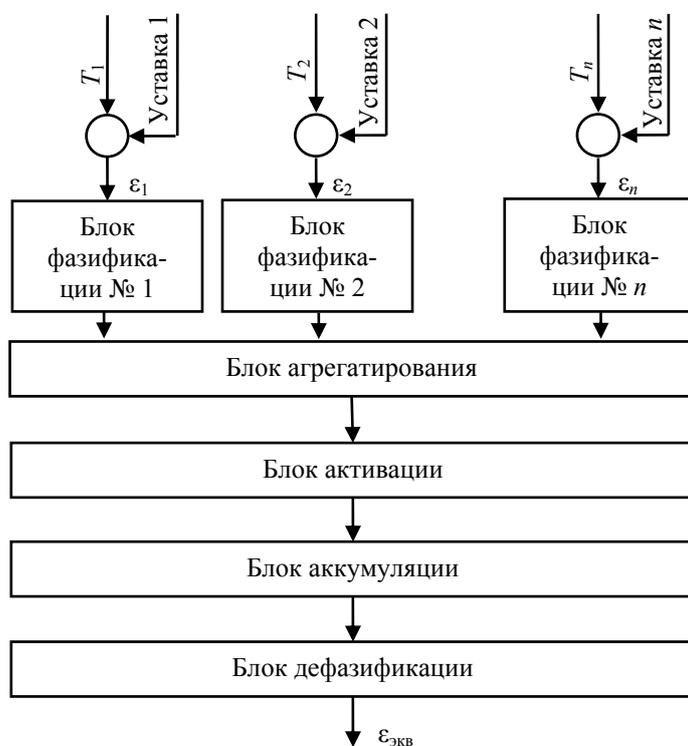


Рис. 2. Структурная схема БНС

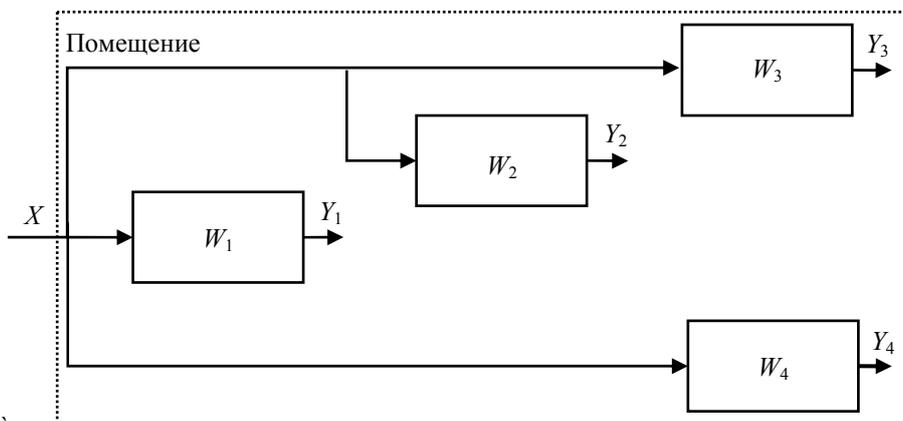


Рис. 3. Структурная схема помещения с четырьмя рабочими местами

При первом приближении передаточную функцию в рассматриваемом помещении по каналу «температура приточного воздуха – температура воздуха в помещении» можно аппроксимировать в виде аperiodического звена первого порядка с запаздыванием. Для системы управления с усреднением значения температуры общий выходной сигнал запишется:

$$Y = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}{4}$$

или в общем виде

$$Y = \frac{1}{n} \sum_1^n Y_n.$$

Эквивалентная передаточная функция для системы с усреднением в общем виде запишется

$$W_{\text{экв}} = \frac{1}{n} \sum_1^n W_n.$$

Для системы управления с блоком нечеткой селекции выходной сигнал в общем виде имеет вид

$$Y = \frac{h_1 Y_1 + h_2 Y_2 + h_3 Y_3 + h_4 Y_4}{4},$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – весовые коэффициенты, формируемые БНС индивидуально для каждого сигнала обратной связи.

Эквивалентная передаточная функция для системы с БНС в общем виде запишется

$$W_{\text{экв}} = \frac{1}{n} \sum_1^n h_n W_n.$$

В последней формуле весовой коэффициент h_n представляет собой числовой коэффициент, отображающий важность (значимость) n сигнала обратной связи в формировании эквивалентного сигнала $\varepsilon_{\text{экв}}$.

Примеры реализации БНС для производственного помещения с четырьмя рабочими местами категории работ Па.

В соответствии с СанПиН «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» (2013), допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений для холодного периода года при категории работ Па уровня энергозатрат находятся в диапазоне температур от 17 до 23°C [1]. Разница между максимальным и минимальным значением температур составляет 6°C. Таким образом, целесообразно определить область изменения базовой переменной (значение сигнала рассогласования) в диапазоне от –6 до 6°C. Минимальное значение –6°C будет дости-

гаться в том случае, когда температура в точке измерения будет 23°C, а желаемое значение 17°C, а значение 6°C – сигнал рассогласования примет в противоположном случае.

Базовое множество термов лингвистической переменной определим следующими лингвистическими переменными:

$$T = \{\text{«отрицательный»}, \text{«нормальный»}, \text{«положительный»}\}.$$

Выберем термы треугольной формы [2]:

- 1) они характеризуются простотой;
- 2) содержат точки, позволяющие задать области, где понятие является истинным, а где – ложным, и таким образом упрощают описание системы.

Функции принадлежности сигнала рассогласования приведены на рис. 4.

Учитывая, что в рассматриваемом помещении значения измеренной температуры на всех рабочих местах одинаково важны и имеют одинаковый вес, то базовые множества лингвистических переменных, формы термов и их области изменения целесообразно принять одинаковыми.

Выходной сигнал БНС является обобщенной характеристикой, усреднением значений температуры по рабочим местам в помещении.

При значениях входных сигналов рассогласований в БНС, для которых функция принадлежности $\mu = 1$, значение эквивалентного сигнала рассогласования можно описать при помощи традиционной математики. После расчета всех возможных комбинаций входных значений сигналов рассогласований в БНС можно сформировать перечень возможных значений эквивалентного сигнала рассогласования и соответствующих им термов. При наличии четырех значений входных в БНС сигналов рассогласования по каналам обратных связей, описываемых тремя термами «отрицательный», «нормальный», «положительный», необходимо девять термов, чтобы описать всевозможные значения эквивалентного выходного сигнала рассогласования. По аналогии с входными сигналами рассогласований целесообразно применить термы треугольной формы и аналогичные области изменения (рис. 5).

Самым простым принципом формирования правил нечеткого вывода эквивалентного рассогласования является принцип на основании «усреднения значений сигналов рассогласований в точках с $\mu = 1$ ». Такие системы автоматического управления позволяют существенно ускорить процесс перехода при смене температурных режимов в помещении с прекомфортный/нормальный, в сравнении с классическими системами с усреднением температуры.

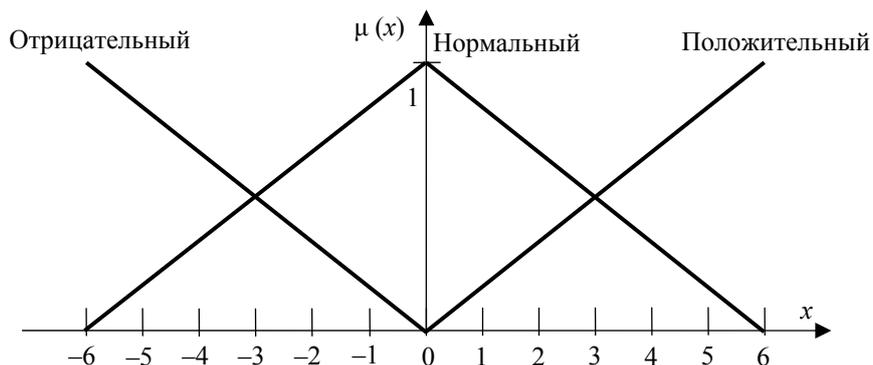


Рис. 4. Функция принадлежности сигнала рассогласования

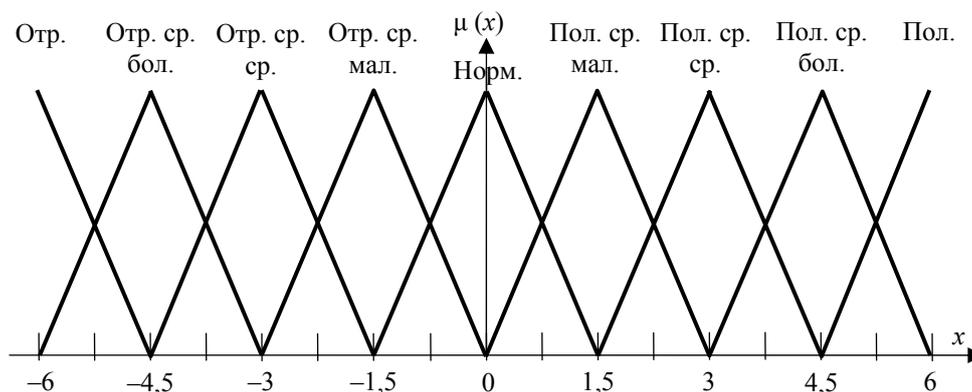


Рис. 5. Функция принадлежности эквивалентного сигнала рассогласования

Проанализируем поведение температур в точках измерения при смене режимов работы прекомфортный/нормальный. При смене режима начинают экспоненциально увеличиваться температуры во всех точках помещения, спустя какое-то время в одной или нескольких точках значение функции принадлежности сигнала рассогласования к терму «нормальный» будет близко к 1. Для того чтобы избавиться от колебаний температуры в данный момент, необходимо искусственно увеличить инерционность системы, путем смещения эквивалентного сигнала рассогласования до ближайшего меньшего терма. Для этого необходимо модифицировать правила нечеткого вывода, в которых один из сигналов рассогласования достигает «нормального» значения, а все остальные еще «отрицательный» или «положительный». Система автоматического управления с БНС (без колебаний) позволяет снизить уровень перерегулирования практически до 0, сохранив при этом время переходного процесса на среднем уровне между системой с усреднением и системой с БНС ($\mu = 1$).

При приближении значения функции принадлежности одного сигнала рассогласования к терму «отрицательный» или «положительный», в то время как значения функций принадлежности других сигналов рассогласований советуют терму «нормальный», целесообразно сме-

стить эквивалентный сигнал рассогласования до ближайшего большего или соответственно меньшего терма.

Также применение БНС позволяет при помощи весовых коэффициентов увеличить или уменьшить значимость значений сигналов обратных связей от некоторых обратных связей.

Путем вариаций правил нечеткого вывода и изменений весовых коэффициентов для значений температуры в каждой точке помещения можно уменьшить присущие системе с усреднением недостатки и расширить функциональные возможности системы управления с большим количеством датчиков в канале обратной связи.

Заключение. В данной статье были проанализированы существующие методики управления температурой в производственных помещениях больших объемов с пространственной распределенностью и неоднородностью температурного поля. Критический анализ систем управления с усреднением значений температур по нескольким каналам показал, что, несмотря на простоту, данный метод не всегда может адекватно оценивать распределенное температурное поле в помещении. Поэтому целесообразно предусмотреть селекцию сигналов обратных связей.

Предложен блок нечеткой селекции, предназначенный для обработки сигналов обратных

связей от датчиков температуры воздуха в рабочих зонах помещения и позволяющий увеличить количество вариантов обработки сигналов обратных связей. Для больших помещений с присущей инерционностью и наличием запаздывания БНС позволяет уменьшить время переходного процесса при каждодневной смене режимов работы СКВ без изменений каче-

ства. Путем вариаций правил нечеткого вывода и изменений весовых коэффициентов для значений температуры в каждой точке помещения можно уменьшить присущие системе с усреднением недостатки и расширить функциональные возможности в системе управления с большим количеством датчиков в канале обратной связи.

Литература

1. Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях: СанПиН : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 30.04.13 № 33 [Электронный ресурс]. URL: <http://bresttorg.by/DswMedia/pmz33.pdf> (дата обращения: 22.11.2017).
2. Шеври Ф. Нечеткая логика // Техническая коллекция Schneider Electric. 2009. № 31. С. 32.

References

1. SanPiN. Requirements to the microclimate of workplaces in production and office premises. Available at: <http://bresttorg.by/DswMedia/pmz33.pdf> (accessed 22.11.2017).
2. Shevri F. Fuzzy logic. *Tekhnicheskaya kolleksiya Schneider Electric* [Technical Collection of Schneider Electric], 2009, no. 31, 32 p.

Информация об авторах

Подобед Михаил Юрьевич – ассистент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gabazin@mail.com

Карпович Дмитрий Семенович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: karpovich@tut.by

Information about the authors

Podobed Mikhail Yur'yevich – assistant lecturer, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gabazin@mail.com

Karpovich Dmitriy Semenovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karpovich@tut.by

Поступила 22.11.2017