

УДК 697.922:628.852.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ**С. В. Сукач, А. В. Мозговой, М. А. Кобылянский, А. Л. Величко**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: scenter@kdu.edu.ua**А. С. Метель**

ООО ПКП «Котлогаз»

ул. Леонова, 5, г. Кременчуг, 39600, Украина.

Разработана автоматизированная система контроля и управления параметрами воздушной среды помещений, в алгоритме работы которой использована трехфакторная модель коэффициента комфортности в зависимости от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Для поддержания комфортных микроклиматических параметров разработан алгоритм управления по введенному коэффициенту комфортности, который используется в комплексной системе автоматизации и диспетчеризации управления оборудованием вентиляционного комплекса, а также для проведения научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: автоматизация, система управления, вентиляция, коэффициент комфортности.**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ****С. В. Сукач, О. В. Мозговой, М. А. Кобылянский, О. Л. Величко**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39614, Україна. E-mail: scenter@kdu.edu.ua**О. С. Метель**

ТОВ ВКП «Котлогаз»

вул. Леонова, 5, м. Кременчук, 39600, Україна.

Розроблено автоматизовану систему контролю й управління параметрами повітряного середовища приміщень, в алгоритмі роботи якої використано трифакторну модель коефіцієнта комфортності залежно від температури, відносної вологості й швидкості руху повітря. Для підтримки комфортних мікрокліматичних параметрів розроблено алгоритм управління за введеним коефіцієнтом комфортності, який використовується в комплексній системі автоматизації й диспетчеризації управління устаткуванням вентиляційного комплексу, а також для проведення науково-дослідних робіт.

Ключові слова: автоматизація, система управління, вентиляція, коефіцієнт комфортності.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Проблема создания безопасных и комфортных условий труда является достаточно широкой и перспективной, т.к. затрагивает вопросы как создания безопасных условий работы, так и качественные показатели в процессе выполнения тех или иных работ. Одним из основных и необходимых условий жизнедеятельности является обеспечение нормативных показателей температуры, влажности и скорости движения воздуха, получившие название параметров микроклимата [1–3]. Особенностью управления параметрами микроклимата является то, что изменение одного из параметров влечет за собой изменение других. Для учёта совместного взаимодействия создана регрессионная модель и введен показатель коэффициента комфортности [4, 5].

Современные системы жизнеобеспечения и безопасности сложно представить без вентиляционных комплексов, оборудованных автоматизированными системами управления. Данная система позволяет централизованно управлять и контролировать необходимые параметры воздушной среды в помещениях согласно санитарно-гигиеническим нормам, а также программировать работу системы, тем самым исключая участие человека в ее функционировании.

Анализ литературных источников показал несовершенство автоматизированных систем контроля и управления параметрами воздушной среды помещений, которые бы позволяли управлять приводом

вентилятора и устройствами регулирования воздушными потоками по одному критерию, поддерживая параметры микроклимата в нормативных пределах. Кроме этого, в существующих системах реализованы достаточно сложные законы и алгоритмы. В связи с этим возникла необходимость в создании такой системы, которая бы при изменении одного из контролируемых параметров микроклимата в помещении, по введенному коэффициенту, управляя устройствами вентиляционного комплекса, автоматически поддерживала данные параметры в зоне комфортности.

Целью данной работы является обоснование структуры, разработка и исследование автоматизированной системы контроля и управления параметрами воздушной среды помещений.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Сложность процессов управления вентиляционными системами не позволяет получить простые законы. Учёт взаимосвязей нелинейных процессов требует разработки сложных законов и алгоритмов. Одним из решений данной проблемы является использование регрессионной модели в алгоритме управления.

Уравнение регрессии – модель зависимости коэффициента комфортности от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха – в общем виде запишем:

$$K_x = b_0 + b_1T + b_2\phi + b_3v + b_{12}T\phi + b_{23}\phi v + b_{31}vT + b_{11}T^2 + b_{22}\phi^2 + b_{33}v^2 + b_{123}T\phi v, \quad (1)$$

где T – температура, °C; φ – относительная влажность воздуха, %; v – скорость движения воздуха, м/с; b – коэффициенты регрессионной модели.

Принятые области варьирования микроклиматических параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Области варьирования микроклиматических параметров при проведении эксперимента

Факторы	Обозначения	Пределы исследований
Температура, °C	T	14...30
Относительная влажность воздуха, %	φ	0...100
Скорость движения воздуха, м/с	v	0,05...0,5

Как способ получения коэффициентов полиномиальной модели применено трехфакторное ротационное планирование второго порядка. Функцией отклика является коэффициент комфортности. Значения коэффициента взяты из литературных источников [1, 2, 4, 6]. Факторы в кодируемом виде и интервалы их варьирования представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

№ п/н	T , о.е.	φ , о.е.	v , о.е.	T , °C	φ , %	v , м/с	K , о.е.
1.	0	0	1,682	22	50	0,5	0,75
2.	1	-1	-1	26,75	20,27	0,14	0,57
3.	1	1	1	26,75	79,73	0,41	0,25
4.	-1	1	1	17,22	79,73	0,41	0,5
5.	1	1	-1	26,75	79,73	0,14	0,25
6.	0	0	0	22	50	0,27	0,95
7.	-1	-1	1	17,22	20,27	0,41	0,4
8.	-1,682	0	0	14	50	0,27	0,2
9.	1	-1	1	26,75	20,27	0,41	0,57
10.	0	-1,68	0	22	0	0,27	0,4
11.	-1	1	-1	17,22	79,73	0,14	0,66
12.	0	1,68	0	22	100	0,27	0,21
13.	-1	-1	-1	17,22	20,27	0,14	0,44
14.	0	0	-1,682	22	50	0,05	0,85
15.	1,682	0	0	30	50	0,27	0,2

Общее число опытов: $N=2^k+2k+k_0=15$, где $k = 3$ – число факторов; $2^k = 8$ – полный факторный эксперимент (ядро плана), представленный в рядах 1...8 матрицы планирования; $2k = 6$ – звездные точки (величина звездного плеча $\alpha=1,682$); $k_0 = 1$ – опыты в центре плана.

Для предотвращения систематических погрешностей рекомендуется рандомизация (расположение объектов в случайном порядке) испытаний. Она по-

зволит нивелировать систематические влияния факторов, которые не контролируются.

Оценка коэффициентов уравнения регрессии рассчитывается согласно выражению

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij} y_i}{N}, \quad (2)$$

где \bar{y}_i – среднее значение параметра оптимизации в i -ому вектор-ряде; N – количество вектор-рядов; k – количество факторов.

$$b_0 = 0,125; b_1 = -0,11; b_2 = 0,64; b_3 = 0,231;$$

$$b_{12} = -0,15; b_{23} = 3,005; b_{31} = 5,121;$$

$$b_{11} = 1,15; b_{22} = 2,34; b_{33} = 1,18;$$

$$b_{123} = 0,017.$$

Дисперсии воспроизводимости, проверка гипотез воспроизводимости опытов осуществлены по критерию Кохрена. Значимость рассчитанных коэффициентов регрессии определена с помощью критерия Стьюдента. Обработка матрицы планирования эксперимента проведена на основе математического аппарата значимости коэффициентов.

Для каждого коэффициента вычисляем статистику:

$$t_{cnj} = \frac{|b_j|}{s(b_j)}; \quad \frac{|b_0|}{s(b_0)} = 1,753 \cdot 10^3; \quad \frac{|b_1|}{s(b_1)} = 11,09;$$

$$\frac{|b_2|}{s(b_2)} = 9,04; \quad \frac{|b_3|}{s(b_3)} = 8,041;$$

$$\frac{|b_{12}|}{s(b_{12})} = 1,753 \cdot 10^3; \quad \frac{|b_{23}|}{s(b_{23})} = 10,091; \quad (3)$$

$$\frac{|b_{31}|}{s(b_{31})} = 12,41; \quad \frac{|b_{11}|}{s(b_{11})} = 13,341; \quad \frac{|b_{22}|}{s(b_{22})} = 2,753 \cdot 10^3;$$

$$\frac{|b_{33}|}{s(b_{33})} = 12,923; \quad \frac{|b_{123}|}{s(b_{123})} = 0,606.$$

Если выполняется условие $t_{cnj} < t_{kr}(\alpha, f)$, то коэффициент статистически значим:

$$\frac{|b_0|}{s(b_0)} > t = 1; \quad \frac{|b_1|}{s(b_1)} > t = 1; \quad \frac{|b_2|}{s(b_2)} > t = 1;$$

$$\frac{|b_3|}{s(b_3)} > t = 1; \quad \frac{|b_{12}|}{s(b_{12})} > t = 0; \quad \frac{|b_{23}|}{s(b_{23})} > t = 0;$$

$$\frac{|b_{31}|}{s(b_{31})} > t = 0; \quad (4)$$

$$\frac{|b_{11}|}{s(b_{11})} > t = 0; \quad \frac{|b_{22}|}{s(b_{22})} > t = 0; \quad \frac{|b_{33}|}{s(b_{33})} > t = 0;$$

$$\frac{|b_{123}|}{s(b_{123})} > t = 0.$$

Линейная модель адекватная, потому что коэффициент взаимодействия b_{12} незначимый:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2.$$

Для проверки адекватности модели используют критерий Фишера, значение которого вычисляют по выражению:

$$F_{sp} = \frac{S_{ad}^2}{s^2(y)}, \quad (5)$$

где S_{ad}^2 – оценка дисперсии неадекватности; $s^2(y)$ – оценка дисперсии воспроизводимости эксперимента:

$$S_{ad}^2 = \frac{n \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{f_2}, \quad f_2 = N - K. \quad (6)$$

Критическое значение

$$F_{kr} = F_{kr}(\alpha; f_1; f_2) = 18,513, \text{ при } f_2 = N - K, f_1 = n - 1.$$

Учитывая, что $F_{sp} = 14,51$ (5), то, согласно условию $F_{sp} < F_{kr}(\alpha; f_1; f_2)$, модель адекватна.

Коэффициенты при парных членах в уравнении, которые отображают зависимость величины коэффициента комфортности от температуры и относительной влажности воздуха, свидетельствуют об эффекте взаимодействия или взаимного влияния. При обработке результатов расчетов эксперимента, исключая незначимые коэффициенты, получено уравнение регрессии второго порядка, адекватность которого подтверждена критерием Фишера.

Окончательная регрессионная модель зависимости коэффициента комфортности от микроклиматических параметров имеет вид:

$$K_K = -a + b\phi - cT^2 - dTv - e\phi^2, \quad (7)$$

где a, b, c, d, e – коэффициенты регрессионной модели.

Структурная схема автоматизированной системы представлена на рис. 1.

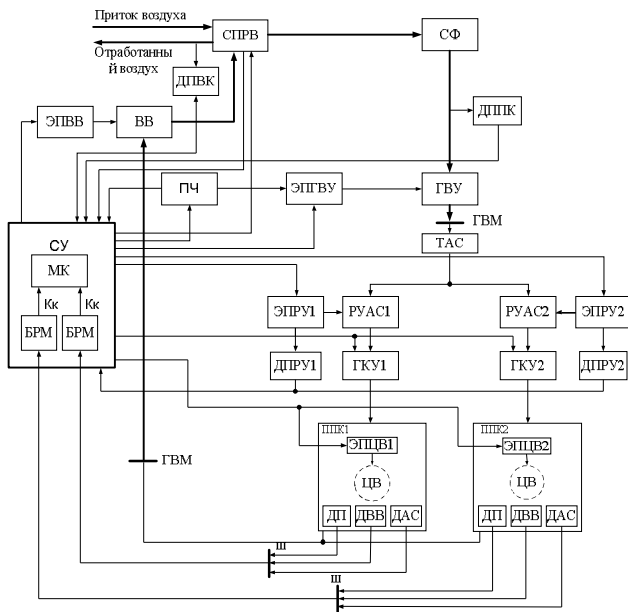


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы контроля и управления параметрами воздушной среды помещений с использованием коэффициента комфортности

В схеме приняты следующие обозначения: ППК – помещения повышенной комфортности; Ш – шина; ГВМ – главная вентиляционная магистраль; СПРВ – система подготовки и рециркуляции воздуха; ДППК – датчик производительности (количество воздуха) в приточном канале; ДПВК – датчик производительности в вытяжном канале; ВВ – вытяжной вентилятор; ЭПВВ – электрический управ-

ляемый привод вытяжного вентилятора; ПЧ – преобразователь частоты; ЭПГВУ – электрический управляемый привод главной вентиляционной установки; ГВУ – главная вентиляционная установка; СФ – система фильтрации; ТАС – трубопроводная аэродинамическая сеть; РУАС – регулирующие устройство разветвленной аэродинамической сети (заслонка); ЭПРУ – электрический управляемый привод регулирующего способа разветвленной аэродинамической сети; ГКУ – генераторы создания комфортных условий; ДПРУ – датчик положения регулирующего устройства разветвленной аэродинамической сети; СУ – система управления; ЭПЦВ – электрический управляемый привод циркуляционного вентилятора; ЦВ – циркуляционный вентилятор; ДП – датчики присутствия и определения количества персонала; ДВВ – датчики вредных воздействий; ДАС – датчики аварийной сигнализации; БРМ – блоки регрессионной модели, Кк – коэффициент комфортности, МК – микроконтроллер.

Контроль и управление параметрами воздушной среды в помещениях осуществляется следующим образом. Внешний воздух из системы подготовки и рециркуляции воздуха поступает в главную вентиляционную установку через систему фильтрации, обеспечивая приток воздуха. Потом воздух через трубопроводную сеть поступает в ППК. На привод циркуляционного вентилятора подается сигнал управления, согласно которому циркуляционный вентилятор начинает работу с определенной скоростью вращения, обеспечивая необходимую подвижность воздуха в помещениях. По достижении необходимого количества воздуха в ППК, которое соответствует объему помещения, подается сигнал на систему управления, которая, управляя приводом регулирующего устройства (заслонки) раздельной аэродинамической сети, устанавливает ее в соответствующее положение (закрыто/открыто). Положение заслонки определяется с помощью датчика положения заслонки.

Сигналы с датчиков температуры, влажности, чистоты воздуха, газового состава и т.д. поступают на блоки регрессионной модели, в которых программно реализовано уравнение регрессии [4, 5]. Полученная информация обрабатывается и представляется в виде одного параметра, который характеризует все заданные параметры – коэффициент комфортности. Данный коэффициент комфортности сравнивается с задаваемым значением. На основании выполненного анализа и сравнения блок регрессионной модели выдает сигнал управления на микроконтроллер, регулирующий положение заслонок, скорость вращения вентилятора и запускает генераторы комфортных условий в каждом помещении.

В КрНУ им. М. Остроградского на кафедре систем автоматического управления и электропривода создан лабораторный комплекс, размещенный в полуподвальном помещении. С целью поддержания нормированных параметров воздушной среды и создания безопасных условий работы преподавателей и студентов, а также проведения лабораторных и исследовательских работ на основании представленной схемы (рис. 1) разработана и внедрена в эксплуатацию автоматизированная вентиляционная система (рис. 2).

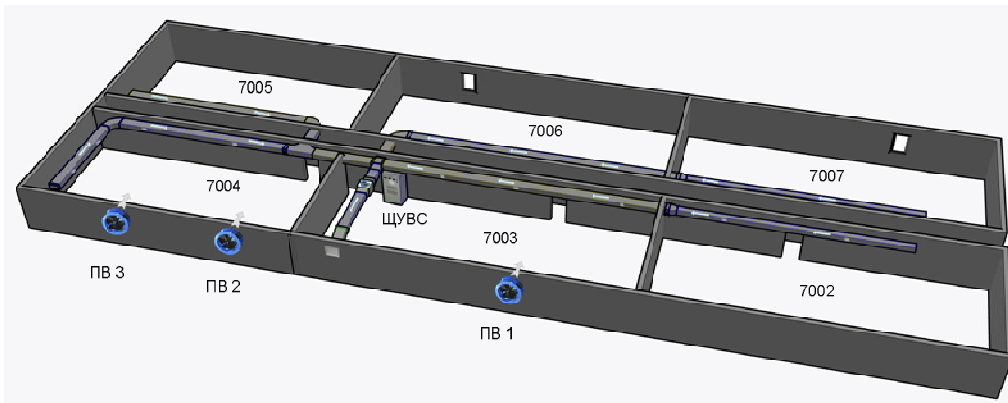


Рисунок 2 – Общий вид лабораторного комплекса и вентиляционной системы: 7002–7007 – аудитории; ПВ1–ПВ3 – приточные вентиляторы; ЩУВС – щит управления вентиляционной системой

Для поддержания комфортных параметров воздушной среды, управляя вентиляционным оборудованием по введенному параметру – коэффициенту комфортности, написана программа в пакете LabVIEW, интерфейс которой представлен на рис. 3.

Основные функциональные блоки программы:

- чтение показаний с датчиков температуры и влажности;
- согласование текущих значений параметров микроклимата с уставками и записи команд управления электроприводом вентилятора и аэродинамических устройств;
- формирование управляющего воздействия;
- отображение информации с датчиков на графиках.

Пример работы системы управления параметрами микроклимата в двух отдельных аудиториях,

которые имеют различные объемы, температуру и влажность, показан на рис. 3. Параметром задания является коэффициент комфортности K_k , равный единице, которому соответствуют температура $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность 45 %. Из графиков переходных процессов (рис. 3) видно, что в течение пяти минут в первом помещении температура с $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличилась до $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность с 71 % уменьшилась до 50 %, а во втором – температура с $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ опустилась до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при увеличившейся относительной влажности с 32 до 57 %.

За счет совместного управления электроприводом вентилятора и аэродинамических устройств сети стабилизация параметров микроклимата соответственно заданному коэффициенту комфортности осуществляется в течение семи минут.

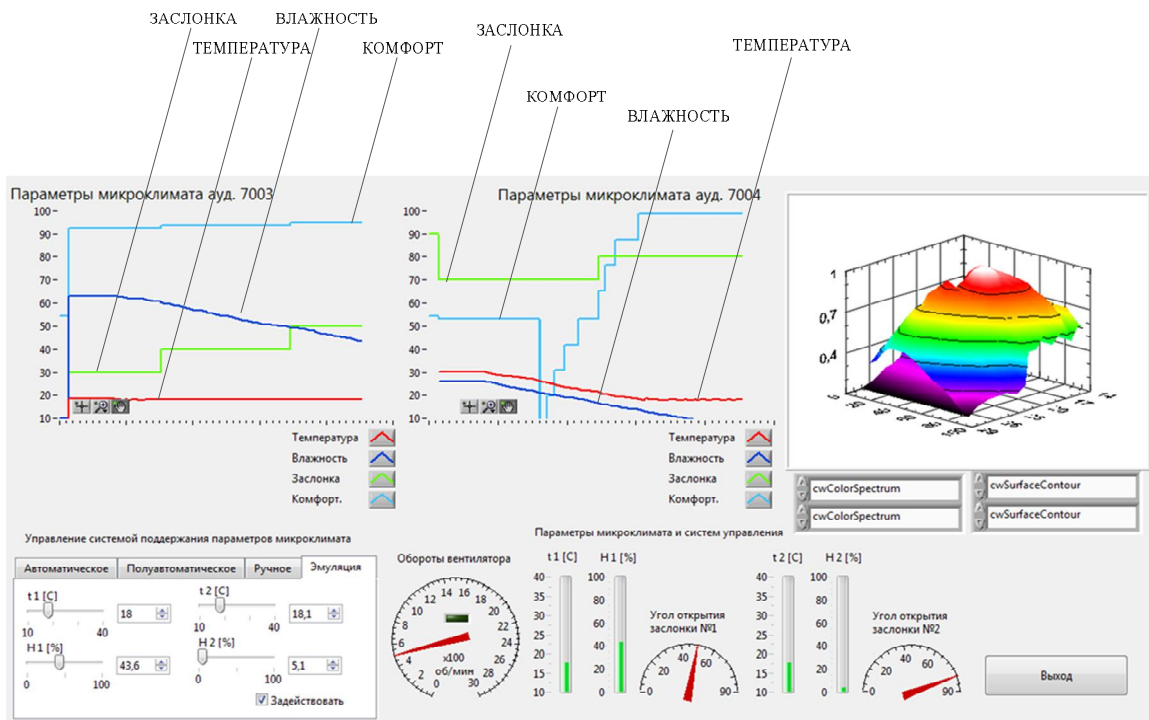


Рисунок 3 – Интерфейс программы управления вентиляционным комплексом

При изменении одного из контролируемых параметров микроклимата в помещении система, по введенному коэффициенту, управляя устройствами вентиляционного комплекса, автоматически поддерживает данные параметры в зоне комфортности.

Созданная лабораторная вентиляционная установка используется для проведения учебной подготовки студентов по специальностям «Электромеханические системы автоматизации и электропривод», «Электромеханическое оборудование энергоёмких производств», а также для научно-исследовательской работы магистрантов и аспирантов соответствующих направлений, что позволяет:

- получить опыт работы с современным оборудованием, навыки монтажа, настройки и возможных вариантов использования его в других целях;
 - изучить энергетические процессы в сложных электрических и электромеханических преобразователях энергии;
 - оценивать ресурсы и техническое состояние электромеханических систем на базе составляющих мгновенной мощности и показателей качества преобразования энергии;
 - строить алгоритмы работы системы и обрабатывать их под воздействием различных возмущающих факторов;
 - исследовать аэродинамические характеристики воздушной сети за счет изменения сопротивления и путем изменения характеристик вентилятора. Это позволит провести анализ обоих методов регулирования как отдельно, так и совместно, а также оценить энергетическую эффективность того или иного способа;
 - осваивать методики испытания вентиляторов, установленных в системе, включающей воздуховоды и вентиляторное оборудование. Испытания заключаются в определении производительности, полного давления, развиваемого вентилятором, мощности и коэффициента полезного действия вентилятора. Проанализировав полученные значения перечисленных параметров, можно оценить износ и возможные неисправности трубопроводной, запорно-регулирующей арматуры и лопаток вентилятора;
 - изучить специфику работы в современных программных средствах автоматизированного управления технологическим процессом, а именно SCADA, LabView;
 - научиться настраивать аппаратные и программные ПИД-регуляторы для автоматического управления технологическим процессом;
 - проводить анализ технических решений, повышения эффективности системы климатического контроля и газового состава воздуха в помещениях.
- ВЫВОДЫ** Путем применения метода планирования эксперимента получена трехфакторная модель коэффициента комфортности в зависимости

от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в помещении. Доказано, что коэффициент комфортности квадратично зависит от температуры и относительной влажности, линейно – от скорости движения воздуха. Синтезированная модель используется в алгоритмах управления систем вентиляции.

Разработана и внедрена в эксплуатацию автоматизированная система контроля и управления параметрами воздушной среды помещений, которая при изменении одного из контролируемых параметров микроклимата в помещении, по введенному коэффициенту, управляя устройствами вентиляционного комплекса, автоматически поддерживает данные параметры в нормативных пределах.

Разработанный программный продукт может быть использован в качестве диспетчерского пульта автоматизированного контроля и управления качеством воздушной средой помещения, а также для проведения научно-исследовательских работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
2. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.
3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
4. Підтримка параметрів мікроклімату в нормативних межах як засіб створення комфортних умов праці / М.М. Авраменко, С.В. Сукач, М.А. Кобылянський // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Вип. 4/2010 (12). – Кременчук: КНУ, 2010. – С. 94–99.
5. К решению задач управления микроклиматом в помещениях учебных заведений / Ю.И. Шульга, А.П. Черный, С.В. Сукач // Проблемы охраны праці в Україні. – 2010. – Вип. 19. – С. 37–44.
6. Трифакторна регресійна модель коефіцієнта комфортності мікроклімату приміщень / Ю.І. Шульга, Д.Й. Родькін, С.В. Сукач // Проблеми охорони праці в Україні. – Вип. 21. – К.: ННДІПБОП, 2011. – С. 119–124.
7. Практическая реализация гибкой системы управления вентиляцией лабораторного комплекса / М.А. Кобылянский, С.В. Сукач, А.В. Мозговой, А.Л. Величко // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 4 (63), ч. 2. – С. 24–27.
8. Стабилизация климатических параметров в лабораторных помещениях с использованием двухканальной системы управления / А.В. Мозговой, С.В. Сукач, М.А. Кобылянский, А.Л. Величко // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 4 (63), ч. 3. – С. 49–52.

CAS OF CONTROL AND MANAGEMENT PARAMETERS
OF AIR ENVIRONMENT OF APARTMENTS

S. Sukach, A. Mozgovoy, M. Kobilyanskiy, A. Velichko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: scenter@kdu.edu.ua

A. Metel

OJSC PCE «Kotlogaz»

ul. Leonova, 5, Kremenchug, 39600, Ukraine.

CAS of control and management the parameters of air environment of apartments is developed, in the algorithm of work of which the three-factor model of coefficient of comfort is used depending on a temperature, relative humidity and rate of movement of air. For maintenance of comfort mikroklimaticheskikh parameters a management algorithm is developed on the entered coefficient of comfort, which is used in the complex system of automation and control of management the equipment of a vent complex centralized traffic, and also for the leadthrough of research works.

Key words: automation, control system, ventilation, coefficient of comfort.

REFERENCES

1. SS 30494-96. *Residential and public buildings. Parameters of indoor climate*. [in Russian]
2. SanPandN 2.1.2.1002-00. *Sanitary and epidemiological requirements for residential buildings and premises*. [in Russian]
3. SNandP 2.04.05-91. *Heating, Ventilation and Air Conditioning*. [in Russian]
4. Support microclimate parameters within the legal framework as a means of creating comfortable working conditions / M.M. Avramenko, S.V. Sukach, M.A. Kobilyanskiy // *Electromechanical and energy saving systems. Quarterly Journal of Research and Production*. – Iss. 4/2010 (12). – Kremenchuk: KNU, 2010. – PP. 94–99. [in Ukrainian]
5. On the solution of the climate control in the premises of educational institutions / U.I. Shul'ga, A.P. Cherniy, S.V. Sukach // *Problems of labor safety in Ukraine*. – 2010. – Iss. 19. – PP. 37–44. [in Russian]
6. Tri-factor regression model coefficient comfortable microclimate of premises / U.I. Shul'ga, D.I. Rod'kin, S.V. Sukach // *Problems of labor safety in Ukraine*. – K.: NNDBPOB, 2011. – Iss. 21. – PP. 119–124. [in Ukrainian]
7. Practical implementation of flexible ventilation control laboratory complex / M.A. Kobilyanskiy, S.V. Sukach, A.V. Mozgovoy, A.L. Velichko // *Bulletin of KNU*. – 2010. – Iss. 4 (63), part 2. – PP. 24–27. [in Russian]
8. Stabilization of climate parameters in laboratory rooms with dual control / A.V. Mozgovoy, S.V. Sukach, M.A. Kobilyanskiy, A.L. Velichko // *Bulletin of KNU*. – 2010. – Iss. 4 (63), part 3. – PP. 49–52. [in Russian]

Стаття надійшла 30.08.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чорним О.П.