

Интеллектуальные методы управления в системах вентиляции и кондиционирования воздуха

Д.А. Благодаров, А.А. Костин, Ю.М. Сафонов, А.С.Тарасов
ФГБОУВПО НИУ «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация
E-mail: blagodarovda@mpei.ru, askostin86@mail.ru, safonovYM@mpei.ru, tarasovAS@mpei.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Применяемые в настоящее время системы автоматического управления электроприводами систем вентиляции не обеспечивают в полной мере требования к качеству выполнения теплотехнических производственных процессов. Необходима разработка новых систем управления путем применения интеллектуальных технологий.

Материалы и методы: Математическое описание объекта регулирования получено методами классической теории автоматического управления. Оптимизация контуров регулирования выполнена с использованием методов синтеза нечетких алгоритмов и искусственных нейронных сетей.

Результаты: Рассмотрена модель системы вентиляции с учетом неравномерности тепловой нагрузки и газового состава воздушной среды. Предложены методы разработки интеллектуальных систем управления для электроприводов систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Выводы: Установлено, что разработанные интеллектуальные методы управления электроприводами систем вентиляции могут быть использованы при жестких требованиях к микроклимату в помещении для обеспечения комфортных условий.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, электропривод, вентиляция, нечеткий регулятор, искусственная нейронная сеть.

Intellectual control methods in ventilation and air conditioning systems

D.A. Blagodarov, A.A. Kostin, Y.M. Safonov, A.S. Tarasov
National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russian Federation
E-mail: blagodarovda@yandex.ru, askostin86@mail.ru, safonovYM@yandex.ru, tarasovas@mpei.ru

Abstract

Background: The current systems of electric drive automatic control in ventilation systems do not meet the quality requirements for heat engineering industrial processes. Therefore, it is urgent to develop new control systems by applying intellectual technologies.

Materials and methods: The mathematical description of control object was obtained by the methods of classical theory of automatic control. Optimization of control loops involved the use of fuzzy algorithm synthesis methods and artificial neural networks.

Results: The paper considers a ventilation system model taking into account the unevenness of thermal load and air gas composition. It also describes new methods of developing intellectual control systems for electric drives of ventilation and air conditioning systems.

Conclusions: It has been determined that the developed intellectual methods of electric drive control in ventilation systems can meet even strict indoor climate requirements for providing comfortable conditions.

Key words: intellectual control system, electric drive, ventilation, fuzzy controller, artificial neural network.

Как правило, системы вентиляции работают в режимах, характеризующихся нестационарностью параметров объекта регулирования, поэтому качество работы этих систем зависит не только от правильного выбора вентилятора и согласования его аэродинамических характеристик и вентиляционной сети шахты, но и от способа и эффективности регулирования режимов его работы.

Обеспечить высокое качество теплотехнических процессов можно путем применения интеллектуальных технологий управления, позволяющих достичь высоких показателей регулирования при существенной нелинейности объекта и наличии множества возмущающих факторов. Рассмотрим вопросы реализации

интеллектуальной системы управления, обеспечивающей поддержание комфортной температуры воздуха в помещении и необходимый уровень воздухообмена.

Функциональная схема приточно-вытяжной системы вентиляции показана на рис. 1. Для контроля параметров воздушной среды используются датчики температуры и газоанализаторы. Изменение температуры воздуха производится пропорциональным приводом трехходового клапана, изменяющего степень смешивания горячей воды из системы горячего водоснабжения (ГВС) и холодной обратной воды калорифера [1]. При этом меняется температура воды, проходящей через кало-

рифер, а соответственно, и температура приточного воздуха.

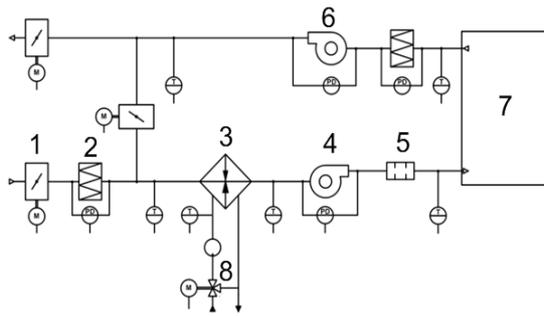


Рис. 1. Функциональная схема приточно-вытяжной системы вентиляции: 1 – клапан воздушный; 2 – фильтр; 3 – нагреватель воздуха; 4 – приточный вентилятор; 5 – шумоглушитель; 6 – вытяжной вентилятор; 7 – обслуживаемое помещение; 8 – трехходовой клапан

Регулирование скорости вращения приточного и вытяжного вентиляторов позволяет изменять интенсивность воздухообмена и, следовательно, концентрацию вредных примесей в воздушной среде помещения.

Для анализа химического состава воздуха в помещении устанавливается распределенная система из четырех датчиков. Изменяемыми величинами являются концентрации углекислого газа (CO_2), угарного газа (CO), влажность (H_2O) и прочие вредные примеси (OD) (рис. 2). Количество вентиляторов может варьироваться и зависит от функционального назначения и размеров помещения. Так, в картофелехранилищах может применяться как один, так и несколько вентиляторов [3]. В данном случае построение системы управления на базе ПИД-регулятора является весьма затруднительным, так как объект имеет нелинейное математическое описание, а также требуется обрабатывать сразу несколько входных сигналов. Наилучшим способом представления поведения различных газов и примесей в воздухе является использование лингвистического описания. Это может быть сделано путем использования нечеткого моделирования соответствующего процесса.

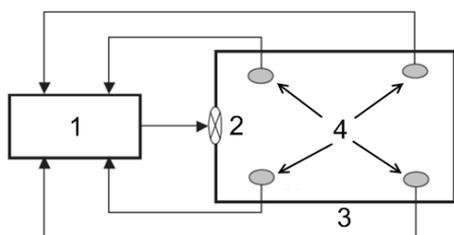


Рис. 2. Структура системы управления воздухообменом: 1 – нечеткий регулятор; 2 – вентилятор; 3 – помещение; 4 – датчики

Для описания нормализованных входных переменных достаточно трех нечетких множеств с треугольными функциями принадлежности (рис. 3). Выходной величиной регулятора является сигнал задания на скорость вентилятора. Для коррекции функций принадлежности

применялась система нейро-нечеткого вывода ANFIS, что позволило улучшить показатели качества работы системы.

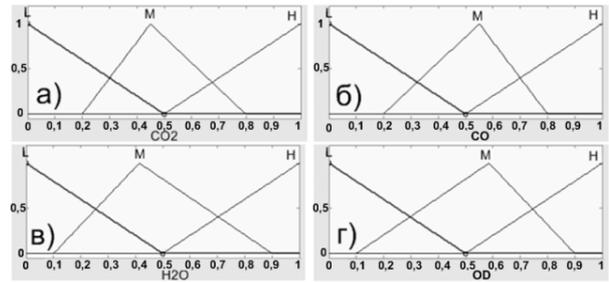


Рис. 3. Нечеткие множества для входных переменных регулятора: а – концентрация углекислого газа; б – концентрация угарного газа; в – влажность; г – прочие примеси

Сравнительная оценка эффективности предложенного метода управления скоростью вентилятора и нерегулируемой системы вентиляции проводилась на известной математической модели помещения объемом 36 м^3 . В начальный период времени источники газовых примесей в комнате отсутствуют. После этого на 15-часовой отметке происходит активация источников газовых примесей (появление в комнате нескольких человек, включение газовой плиты и т.д.) Результаты сравнительного анализа газового состава воздушной среды двух способов управления вентилятором показаны на рис. 4–6.

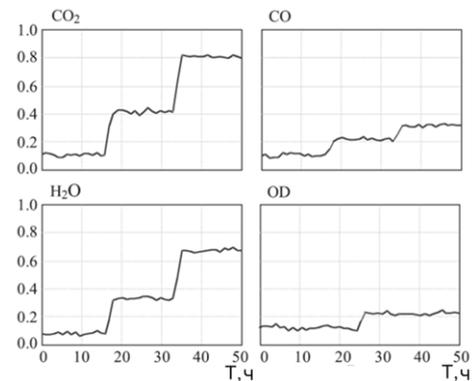


Рис. 4. Концентрации примесей в воздушной среде при постоянной скорости вращения вентилятора

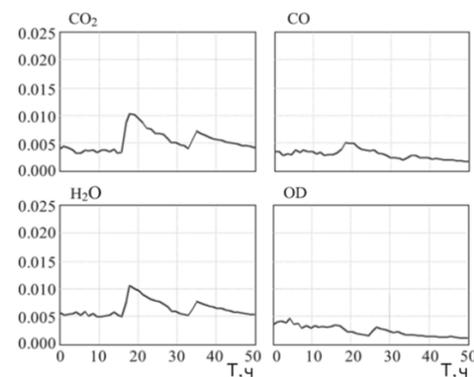


Рис. 5. Концентрации примесей в воздушной среде при использовании нечеткого регулятора

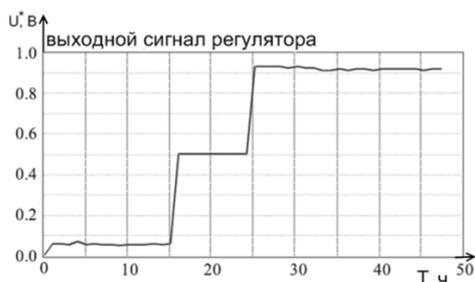


Рис. 6. Выходной сигнал нечеткого регулятора

Анализ графиков (рис. 4–6) показывает, что применение нечеткого регулятора позволяет задавать оптимальную скорость вращения вентилятора в зависимости от концентрации газовых примесей. При этом поддерживается оптимальный уровень концентрации одной из примесей, заданной пользователем, а остальные воздействия являются возмущающими факторами, влияющими на скорость вращения вентилятора. Нерегулируемая система вентиляции либо не обеспечивает требуемого воздухообмена при малой скорости вращения вентилятора, либо оказывается энергетически неэффективной при постоянной работе вентилятора с максимальной скоростью.

Схема двухконтурной системы управления температурой показана на рис. 7. Регулятор внешнего контура выдает задание на температуру обратной воды в смесительном узле для регулятора внутреннего контура. Для второго регулятора заданием является сигнал первого регулятора, а сигналом обратной связи является температура обратной воды в смесительном узле [2].

Передаточная функция системы вентиляции рассматривается как последовательное соединение звеньев: вентилятора, теплообменника, воздуховода и помещения [1]:

$$W_{\text{вент}}(p) = K_{\text{вент}}; \quad (1)$$

$$W_{\text{то}}(p) = \frac{K_{\text{то}}}{T_{\text{то}}p + 1}; \quad (2)$$

$$W_{\text{вх}}(p) = \frac{K_{\text{вх}}e^{-\tau_3 p}}{T_{\text{вх}}p + 1}; \quad (3)$$

$$W_{\text{пом}}(p) = \frac{K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}}p + 1}; \quad (4)$$

где K_i , T_i – коэффициент усиления и постоянная времени соответствующего элемента системы; τ_3 – время запаздывания.

Датчик температуры описывается аperiодическим звеном:

$$W_{\text{дат}}(p) = \frac{K_{\text{дат}}}{T_{\text{дат}}p + 1}. \quad (5)$$

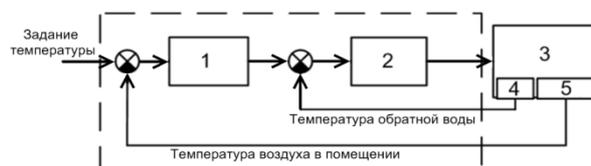


Рис. 7. Двухконтурная система управления: 1 – регулятор воздушного контура; 2 – регулятор водяного контура; 3 – система вентиляции; 4 – датчик температуры воды; 5 – датчик температуры воздуха

Для реализации нейросетевого регулятора температуры воздуха в среде Matlab была создана двухслойная нейронная сеть. Обучающая выборка для нейронной сети создавалась вручную на основе эмпирических знаний о работе системы вентиляции. Входными параметрами для нейронной сети являются сигналы с нескольких датчиков температуры, расположенных в разных точках помещения.

Согласно требованиям к показателям качества работы систем вентиляции, статическая ошибка и максимальное перерегулирование составляют 7 и 10 % соответственно [1].

Сравнение традиционного, нечеткого и нейросетевого регуляторов проводится на математической модели системы. Графики изменения температуры при скачкообразном изменении задания и линейной модели помещения показаны на рис. 8.

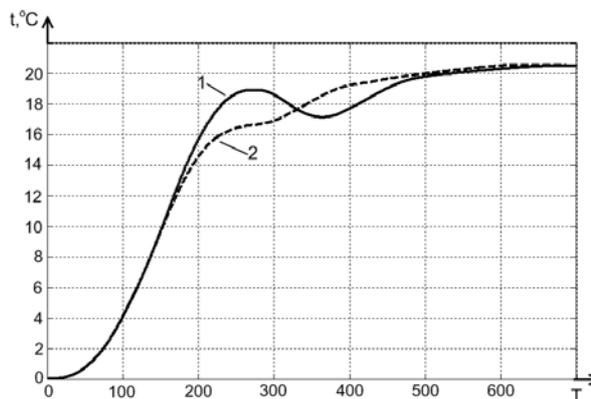


Рис. 8. Графики изменения температуры при линейной модели помещения: сплошная линия (1) – традиционная система управления; штриховая линия (2) – система управления с нечетким регулятором или нейронной сетью

Анализ графиков (рис. 8) показывает, что колебания температуры в системе с нечетким регулятором при обработке возмущений значительно ниже по сравнению с традиционной структурой управления, статическая ошибка величиной в 5 % укладывается в допустимые нормы. Результаты работы нейронной сети практически совпадают с показателями нечеткого регулятора, что свидетельствует о корректности обучения нейронной сети.

В процессе эксплуатации системы параметры объекта могут изменяться. Результаты моделирования при увеличении длины воздуховода (времени запаздывания) показаны на рис. 9.

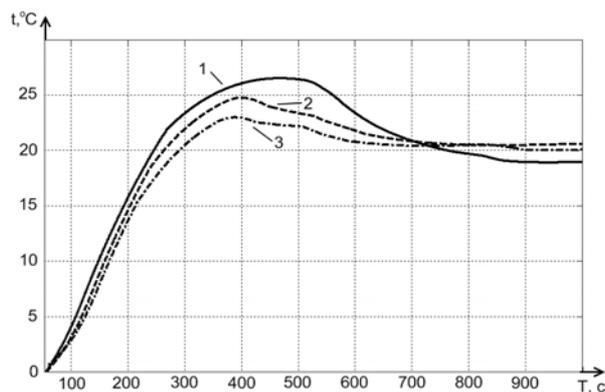


Рис. 9. Графики изменения температуры при увеличении длины воздуховода: сплошная линия (1) – традиционная система управления; штриховая линия (2) – система управления с нечетким регулятором; штрих-пунктирная линия (3) – система управления с нейронной сетью

При изменении параметров объекта показатели качества системы с традиционным регулятором ухудшились ввиду того, что нарушились условия оптимизации, заложенные в регулятор на этапе проектирования. Интеллектуальные системы управления лишены подобного недостатка и обеспечивают допустимое значение перерегулирования при изменении параметров объекта в широком диапазоне.

Таким образом, одним из главных преимуществ разработанных интеллектуальных систем управления системой вентиляции на основе нечеткой логики и нейронных сетей является возможность их использования при не-

Благодаров Дмитрий Анатольевич,
ФГБОУВПО «НИУ МЭИ»,
кандидат технических наук, доцент кафедры АЭП,
e-mail: VlagodarovDA@mpei.ru

Костин Алексей Александрович,
ФГБОУВПО «НИУ МЭИ»,
аспирант кафедры АЭП,
e-mail: askostin86@mail.ru

Сафонов Юрий Михайлович,
ФГБОУВПО «НИУ МЭИ»,
кандидат технических наук, профессор кафедры АЭП,
e-mail: safonovym@mpei.ru

Тарасов Алексей Сергеевич,
ФГБОУВПО «НИУ МЭИ»,
ассистент кафедры АЭП,
e-mail: TarasovAS@mpei.ru

полном описании объекта автоматизации или изменении его параметров в процессе эксплуатации. Нейросетевой подход целесообразно применять при жестких требованиях к микроклимату.

Список литературы

1. **Автоматизация** систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич. – Киев: Изд-во «ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим»», 2005. – 560 с.
2. **Тарасов А.С.** Система автоматического управления вентиляцией, воздушным отоплением и кондиционированием воздуха в помещении на базе отечественного контроллера // *Главный энергетик*. – 2010. – № 6. – С. 49–57.
3. **Технологии** хранения картофеля / К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук, С.Н. Еланский, С.В. Мальцев. – М.: Изд-во «Картофелевод», 2007. – 192 с.

References

1. Bondar', E.S., Gordienko, A.S., Mikhaylov, V.A., Nimich, G.V. *Avtomatizatsiya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh* [Automation of ventilation and air conditioning systems]. Kiev, Izdatel'stvo «TOV "Vidavnicхий budinok "Avanpost-Prim"», 2005. 560 p.
2. Tarasov, A.S. *Sistema avtomaticheskogo upravleniya ventilyatsiei, vozdushnym otopleniem i konditsionirovanie vozdukh v pomeshchenii na baze otechestvennogo kontrollera* [System of automatic control of room ventilation, air heating and air conditioning based on controllers produced in Russia]. *Glavnyy energetik*, 2010, no. 6, pp. 49–57.
3. Pshechenkov, K.A., Zeyruk, V.N., Elanskiy, S.N., Mal'tsev, S.V. *Tekhnologii khraneniya kartofelya* [Technologies of storing potatoes]. Moscow, Kartofelevod, 2007. 192 p.