УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТА ХРАНИЛИЩА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Н.А.Кабулов

доктор технических наук (DSc), заведующий кафедрой «Компьютерный инжиниринг и цифровые технологии» Андижанского филиала Кокандского университета, Узбекистан.

Аннотация. *Несмотря на свою сложность и неопределенность, системы кондиционирования воздуха должны обеспечивать оптимальный режим микроклимата в хранилищах. Эти системы управления должны быть способны адаптироваться к изменениям параметров окружающей среды. Сегодня в большинстве систем кондиционирования воздуха имеются контроллеры включения/ выключения или ПИД-регуляторы более совершенных типов, которые из-за различных условий окружающей среды не являются оптимальными и не могут обеспечить оптимальные условия окружающей среды.*

Управление тепловым комфортом системы кондиционирования воздуха требует оценки индекса теплового комфорта. В этом исследовании нечеткий контроллер использовался для обеспечения теплового комфорта в системе кондиционирования воздуха, а нейронная сеть использовалась для оценки теплового комфорта в тракте обратной связи контроллера.

Нечеткий контроллер обладает хорошим откликом, учитывая нелинейные особенности систем кондиционирования воздуха. Кроме того, нейронная сеть позволяет использовать обратную связь по тепловому комфорту при управлении в режиме реального времени.

Ключевые слова: *кондиционер, нечеткий контроллер, нейронная сеть, микроклимат.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня современные системы очистки и кондиционирования воздуха должны обеспечивать необходимого поддерживания соответствующую микроклиматическую среду в дополнение к оптимальному потреблению энергии [1]. Обычные контроллеры, используемые в системах кондиционирования воздуха, относятся к типу переключателей включения/ выключения, которые, помимо того, что являются неоптимальными, не обеспечивают оптимальных условий окружающей среды. Современные системы кондиционирования воздуха позволяют более эффективно управлять энергопотреблением. Кроме

того, в системах кондиционирования воздуха предпочтительны пропорционально-интегрально-производные (PID) регуляторы.

Системы кондиционирования благодаря своей простоте, структуре, удобству использования, хорошей стабильности, высокой надежности и нулевой установившейся погрешности. Тем не менее, процесс настройки системы кондиционирования воздуха может занять до нескольких дней, чтобы найти подходящий ПИД-режим для контроллера. Это условие становится намного более сложным, когда возникает необходимость в повторном воспроизведении, особенно при больших размерах системы кондиционирования воздуха [2-5]. Многие контуры управления фактически не настроены должным образом из-за отсутствия у инженеров по управлению процессом достаточных знаний. Такая неоптимальная настройка увеличивает энергопотребление и в то же время приводит к некорректной работе системы в различных условиях, а значит, помимо того, что она не оптимальна, она не обеспечивает оптимальные условия окружающей среды [5]. С другой стороны, из-за сложности и неопределенности переменных, что является одной из основных характеристик динамического поведения этих систем, расширяется использование в этой области более совершенных контроллеров. Поэтому разработка настраиваемой технологии на системах кондиционирования воздуха очень важна [1-5].

В этом отношении были предложены различные контроллеры. Некоторые из этих контроллеров используются для настройки доступных ПИД-регуляторов. В этом случае, в зависимости от различных условий, функция коэффициента усиления ПИД-регулятора определяется нечеткой логикой. В некоторых других, учитывая вышеперечисленные свойства для кондиционирования воздуха в системах с несколькими входами и несколькими выходами управление осуществляется с помощью центрального нечеткого контроллера [6-11].

С другой стороны, многоуровневые нейронные сети сегодня широко используются для оценки нелинейной связи между входными и выходными переменными с определенной точностью. Применение этих сетей при оценке тепловая нагрузка систем кондиционирования дала хорошие результаты [17]. Оценка теплового комфорта как основной цели систем кондиционирования воздуха оценивается с помощью различных индексов, наиболее важным из которых является коэффициент PMV (прогнозируемое среднее голосование), который получается из уравнения комфорта Фэнгера с повторяющимся решением. В этом исследовании нечеткий контроллер был использован для обеспечения теплового комфорта в системе кондиционирования воздуха.

Чтобы избежать повторения уравнения Фэнгера, для оценки теплового комфорта использовалась нейронная сеть. Используя нейронную сеть в контуре обратной связи контроллера, коэффициент PMV использовался для создания

команд управления. Результаты показали хорошую реакцию нечеткого контроллера, учитывая нелинейные свойства систем кондиционирования воздуха. Кроме того, нейронная сеть использует обратную связь по температурному комфорту при управлении в режиме реального времени.

2. СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ

На рисунке 1 показана однозонная система кондиционирования воздуха, рассматриваемая в данной работе. Эта модель системы
состоит из различных частей, включая теплообменник, компрессор возвратного воздуха, охладитель для холода, подача воды в теплообменник, соединительные каналы, заслонки, смесители чистого и возвратного воздуха. В настоящее время при исследовании предполагалось, что система работает в режиме охлаждения. Основными системными процессами в режиме охлаждения являются:

а) сначала 25 % свежего воздуха поступает в систему в сумматоре потоков и смешивается с 75 % возвратного воздуха (режим 5).

б) затем смешанный воздух в сумматоре потоков поступает в теплообменник для обеспечения кондиционирования и обогрева, передача (Режим 1). Здесь через фильтр проходит смешанный воздух, а затем охлажденный змеевик водяного охлаждения.

в) затем воздух, поступающий в камеру нагрева, удаляется из теплообменника (Режим 2).

г) наружный воздух поступает в камеру нагрева для компенсации кажущегося (фактического) тепла и скрытого тепла.

д) в конце воздух из камеры нагрева вытягивается компрессором (Режим 4), и 75% его остается возвращается в систему, а остальное выходит из системы.

В этой системе скорость воздушного потока задается скоростью компрессора. По мере увеличения скорости компрессора расход воздуха также увеличивается. Кроме того, подача холодной воды регулируется насосом с регулируемой скоростью.

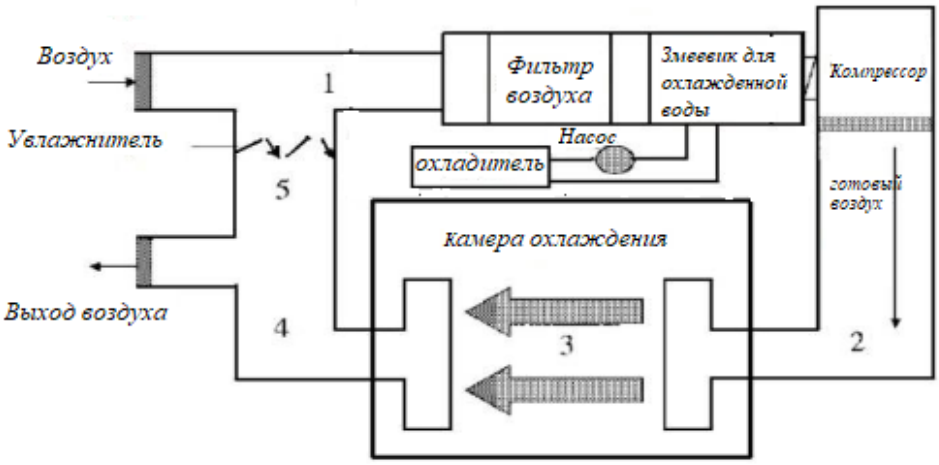


Рис. 1. Однозонная система кондиционирования воздуха

Как видно на рисунке 1, системы кондиционирования воздуха состоят из множества частей и компонентов, которые затрудняют их моделирование и делают практически невозможным достижение определенной модели. Поэтому в большинстве моделей, представленных для аппроксимации системы, используются или идентифицируются традиционными методами некоторые упрощенные допущения, либо же модель системы получается для управления ею с использованием общих методов идентификации. Дифференциальные уравнения динамического поведения системы, показанные на рисунке 1, можно получить из разложения уравнения энергии и устойчивости массы [18-31]:

$$\dot{T}_3 = \frac{f_a}{V_s}(T_2 - T_3) - \frac{h_{fg} f_a}{C_{pa} V_s}(w_s - w_3) + \frac{1}{\rho_a C_{pa} V_s}(Q_0 - h_{fg} M_0) \quad (1)$$

$$\dot{w}_3 = \frac{f_a}{V_s}(w_s - w_3) - \frac{M_0}{\rho_a V_s} \quad (2)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{f_a}{V_{hs}}(T_3 - T_2) - \frac{0.25 f_a}{V_{hs}}(T_0 - T_3) - \frac{h_w f_a}{C_{pa} V_{hs}}(0.25 w_0 + 0.75 w_3) - \left[\frac{\rho_w C_{pw} \Delta T_{hs}}{\rho_a C_{pa} V_{hs}}\right] f_w \quad (3)$$

Переменные, связанные с системой приведенных выше уравнений, показаны в таблице 1.

Условия записи уравнений в режиме кондиционирования следующие:

а) 25% свежего воздуха смешивается с 75% возвратного воздуха из камеры нагрева.

б) Весь смешанный воздух проходит через теплообменник.

в) Воздух вводится в цикл через вентилятор и проходит через теплообменник, оставляя

отдохнуть от этого.

Кроме того, некоторые из допущений, учтенных в приведенных выше уравнениях:

а) газы считаются идеальными и полностью перемешанными.

б) давление постоянно во время процесса.

в) тепловые потери и хранение компонентов не учитываются.

г) для управления системой приведенные выше динамические уравнения можно представить в виде следующих гипотезы в пространстве переменных состояния:

$$u_1 = f_a \quad , \quad u_2 = f_w$$
$$x_1 = T_3 \quad , \quad x_2 = w_3 \quad , \quad x_3 = T_2$$
$$y_1 = T_3 \quad , \quad y_2 = w_3$$

Коэффициенты уравнения определяются как:

$$\alpha_1 = \frac{1}{V_s}\ ,\quad \alpha_2 = \frac{h_{fg}}{C_{pa}V_s}\ ,\quad \alpha_3 = \frac{1}{\rho_a C_{pa} V_s}\ ,\quad \alpha_4 = \frac{1}{\rho_a V_s} \tag{4}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{V_{he}}\ ,\quad \beta_2 = \frac{\rho_w C_{pw} \Delta T_{he}}{\rho_a C_{pa} V_{he}}\ ,\quad \beta_3 = \frac{h_w}{C_{pa} V_{he}} \tag{5}$$

Таблица 1.

Системные переменные

Температура наружного воздуха	T_o
Температура готового воздуха	T_2
Температура нагревательной камеры	T_3
Нагрузка на влажность	M_0
Ощутимая тепловая нагрузка	Q_0
Плотность воздушной массы	P_a
Массовая плотность воды	P_w
Объемный расход воздуха	f_a
Поток холодной воды	f_w
Изменение температуры теплообменника	ΔThe
Энтальпия жидкой воды	h_w
Энтальпия водяного пара	h_{fg}
Относительная влажность наружного воздуха	W_0
Относительная влажность готового воздуха	W_s
Относительная влажность в камере охлаждения	W_3
Объем теплообменника	V_{he}
Объем камеры охлаждения	V_s
Удельная теплоемкость воздуха	C_{pa}
Удельная теплоемкость воды	C_{pw}

С этими предположениями мы можем представить приведенное выше динамическое уравнение в форме переменных состояния как уравнения (4).

$$\dot{x}_1 = a_1 u_1 (x_3 - x_1) - a_2 u_1 (w_s - x_2) + a_3 (Q_0 - h_{fg} M_0) \quad (6)$$

$$\dot{x}_2 = a_1 u_1 (w_s - x_2) + a_4 M_0 \quad (7)$$

$$\dot{x}_3 = \beta_1 u_1 (x_1 - x_3) + 0.25\, \beta_1 u_1 (T_0 - x_1) - \beta_3 u_1 \{(0.25\, w_0 + 0.75 x_2) - w_s\} - \beta_2 u_2 \quad (8)$$

2.2. Структура нечеткого регулятора с обратной связью

Общая конструкция предлагаемой системы управления показана на рисунке 2. В этой системе используется нечеткий регулятор с 2 входами и 2 выходами. Входными переменными контроллера являются коэффициент теплового комфорта со скоростью его изменения. Переменными управления системой кондиционирования воздуха являются поток воздуха и поток хладагента (f_w и f_a), которые регулируются соответственно клапанами и компрессорами с регулируемой скоростью.

Диапазон изменения входных и управляющих переменных представлен в таблице 2.

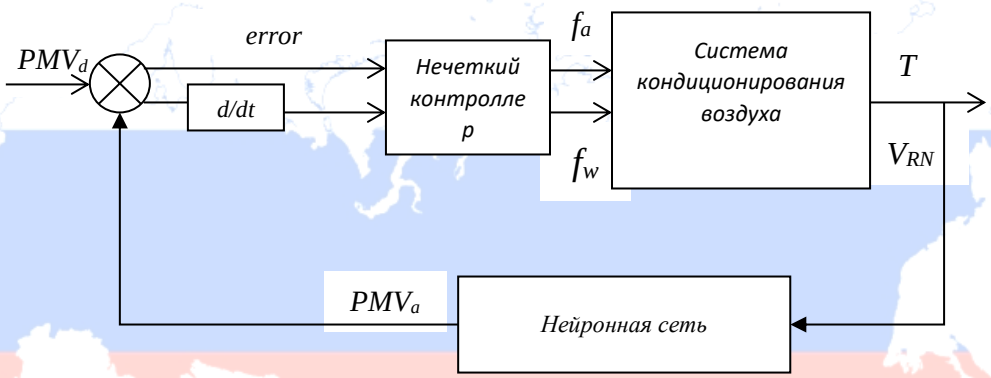


Рис. 2. Схема системы управления с обратной связью по комфорту

Таблица 2.

Диапазон изменения переменных регулятора

	Min	*Max*
PMV error	-3.5	3.5
PMV error_dot	-1.5	1.5
f_a	1	3.5
f_w	0.5	1.5

В нейронной сети, используемой в этом исследовании, температура, относительная влажность и скорость воздуха в теплообменнике считаются входными данными, а человеческие переменные и средняя температура излучения считаются постоянными.

Температура и относительная влажность были получены непосредственно из динамических уравнений, а скорость воздуха рассматривалась как линейная функция объемного расхода входящего воздуха. Выходом нейронной сети является коэффициент комфорта, который используется в качестве сигнала обратной связи.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ СИСТЕМЫ В MATLAB И ИЗУЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Чтобы оценить работу предлагаемого контроллера, предложенная модель была смоделирована в MATLAB/SIMULINK. Кроме того, для моделирования использовались числовые значения и переменные системы отсчета, относящиеся к системе кондиционирования воздуха в хранилищах в течение относительно длительного периода май-сентябрь. Реакция системы управления на вход оптимального микроклимата показана на рисунке 3. Как видно, контроллер может обеспечить оптимальный микроклимат в течение подходящего периода времени. Численные значения и параметры системы показаны в таблице 3.

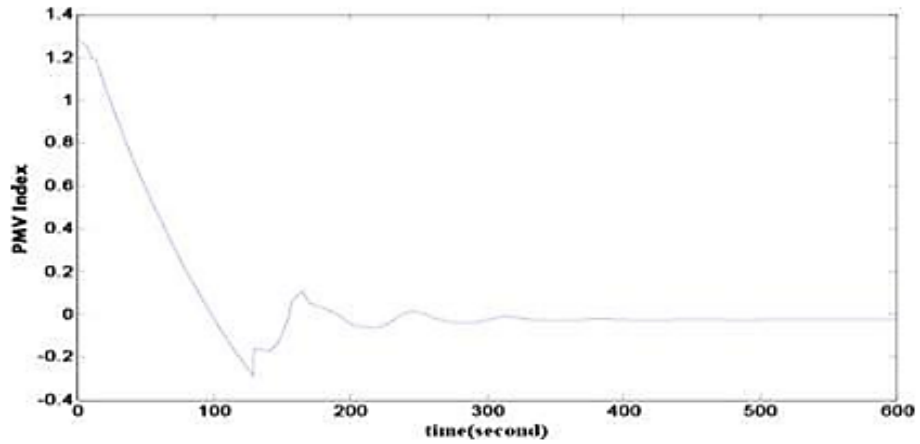


Рис. 3. Реакция системы с использованием нечеткого контроллера и обратной связи нейронной сети

Таблица 3.

Числовые значения и параметры системы

Параметры	*Значения*
T_0 , ℃	30
T_2 , ℃	16.5
T_3 , ℃	24
M_0 , *kg/s*	0.000117
Q_0 ,*J*	22500
P_a , kg/m^3	1.1853
P_w , *kg/lit*	1
ΔT_{he} , ℃	7
h_w , *J/kg*	790840
h_{fg} , *J/kg*	2508009.5
w_0 , *kg* H_2O*/kg dry*	0.0081994
w_s , *kg* H_2O*/kg dry*	0.0080
V_{he} , m^3	1
V_s , m^3	379.5
C_{pa} , *J/kg.*℃	1004.882
C_{pw} , *J/kg.*℃	4198

4. ВЫВОДЫ

В данном исследовании были рассмотрены моделирование и управление одно зонной системой кондиционирования.

После предоставления динамических уравнений системы был предложен нечеткий контроллер с обратной связью по коэффициенту комфорта для управления предполагаемой системой. Оценка коэффициента комфорта с использованием нейронной сети с переменными окружающей среды в качестве входных данных выполнялась одновременно. Расчетное значение было использовано в качестве сигнала обратной связи нечеткого контроллера путем сравнения с номинальным значением. Результаты показали оптимальную производительность контроллера в обеспечении микроклимата. Они также указали на возможность использования нейронной сети в цепи обратной связи систем управления в реальном времени с обратной связью.

ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Yusupbekov N.R., Sh. M. Gulyamov, A. N. Yusupbekov, N. A. Kabulov “Simulation of Chemical-Technological Complexes” // Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer Nature, Prague, Czech, 2019.-Vol.1095. -pp. 588-595. (11. Springer)
2. Kabulov N.A. “Construction of intellectual industrial storages of perishable vegetable raw materials” // International scientific and technical journal «Chemical Texnology.Control and Management». Tashkent, 2019. -№ 3. –pp. 30-37.
3. N.A.Kabulov. Analysis of the technological process conditions of oil raw materials storage and the mathematical model refinement International scientific and technical journal //«Chemical Texnology. Control and Management». Tashkent, 2022. -№ 4-5. –PP.165-173.
4. N.A.Kabulov. Structural model of the technological process of storage and processing of oil raw materials// International scientific and technical journal //«Chemical Texnology. Control and Management». Tashkent, 2023, №1 (109) pp.76-80.
5. N.R. Yusupbekov, N.A. Kabulov. Intellectual control system for the technological process of storing oilseeds in the construction of a fuzzy controller. // Tashkent state technical university named after Islam Karimov//«Technical science and innovation». Tashkent, 2023, №1 (15) pp.175-180.
6. C. S. Canbay, et al., “Evaluating performance indices of a shopping centre and implementing HVAC control principles to minimize energy usage,” Energy and Buildings, vol. 36, no. 6, pp. 587-598, 2004.
7. J. W. Moon and S. K. Jung, “Development of a thermal control algorithm using artificial neural network models for improved thermal comfort and energy efficiency in accommodation buildings,” Applied Thermal Engineering,vol. 103, pp. 1135-1144, 2016.
8. M. Collotta, et al., “A dynamic fuzzy controller to meet thermal comfort by using neural network forecasted parameters as the input,” Energies, vol. 7, no. 8, pp. 4727-4756, 2014.
9. A. K. Pal, “Development of Neuro-Fuzzy Controller for Applications to HVAC System, Inverted Pendulum and Other Processes,” International Journal of Computational Cognition, vol. 6, no. 2, pp. 1-6, 2008.
10. T. Chaudhuri, et al., “A feedforward neural network based indoor-climate control framework for thermal comfort and energy saving in buildings,” Applied Energy, vol. 248, pp. 44-53, Aug 2019.

11. A. K. Pal and R. K. Mudi, "Self-tuning fuzzy PI controller and its application to HVAC systems," International Journal of Computational Cognition, vol. 6, no. 1, pp. 25-30, 2008.
12. M. Mongkolwongrojn and V. Sarawit, "Implementation of Fuzzy Logic Control for Air Conditioning Systems," ICCAS, 2005.
13. A. N. Azlina, et al., "Intelligent home automated system," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 15, no. 2, pp. 733-742, 2019.
14. H. J. Yoon, et al., "Prediction of thermal environment in a large space using artificial neural network," Energies, vol. 11, no. 2, pp. 418-432, 2018.
15. N. I. Ramli, et al., "Investigating thermal comfort for the classroom environment using IoT," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 9, no. 1, pp. 157-163, 2018.
16. R. S. Fargus and C. Chapman, "Commercial PI-neural controller for the control of building services plant," UKACC International Conference on Control, vol. 2, pp. 1688-1693, 1998.
17. A. E. Ben-Nakhi and M. A. Mahmoud, "Cooling load prediction for buildings using general regression neural networks," Energy Conversion and Management, vol. 45, no. 13, pp. 2127-2141, 2004.
18. B.Argüello-Serrano and M. Vélez-Reyes, "Nonlinear control of a heating, ventilating, and air conditioning system with thermal load estimation," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 7, no. 1, pp. 56-63, 1999.
19. A.A. Malik, et al., "Statistical analysis using taguchi method for wind turbine in ducting system," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 15, no. 1, pp. 26-33, 2019.
20. Z. Deng and Q. Chen, "Artificial neural network models using thermal sensations and occupants' behavior for predicting thermal comfort," Energy and Buildings, vol. 174, pp. 587-602, 2018.
21. G. Gao, et al., "Energy-Efficient Thermal Comfort Control in Smart Buildings via Deep Reinforcement Learning," arXiv: 1901.04693, pp. 1-11, 2019.
22. S. Atthajariyakul and T. Leephakpreeda, "Neural computing thermal comfort index for HVAC systems," Energy Conversion and Management, vol. 46, no. 15-16, pp. 2553-2565, 2005.
23. G. C. Cardarilli et al., "Approximated computing for low power neural networks," TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control., vol. 17, no. 3, pp. 1236-1241, 2019.
24. B. D. Argo, et al., "A fuzzy micro-climate controller for small indoor aeroponics systems," TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control, vol. 17, no. 6, pp. 3019-3026, 2019.

25. R. Escandón, et al., "Thermal comfort prediction in a building category: Artificial neural network generation from calibrated models for a social housing stock in southern Europe," Applied Thermal Engineering, vol. 150, pp. 492-505, 2019.
26. N. A. Wahab, et al., "Artificial neural network based technique for energy management prediction," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 17, no. 1, pp. 94-101, 2019.
27. R. F. Mustapa, et al., "Energy consumption prediction through linear and non-linear baseline energy model," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 17, no. 1, pp. 102-109, 2019.
28. H. H. Bakr, et al., "A neuro-fuzzy sugeno-style HVAC control system for balancing thermal comfort and energy consumption," IJCCI 2017 - Proceedings of the 9th International Joint Conference on Computational Intelligence, pp. 419-426, 2017.
29. P. M. Ferreira, et al., "Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings," Energy and Buildings, vol. 55, pp. 238-251, 2012.
30. D. Palladino, et al., "Artificial Neural Networks For The Thermal Comfort Prediction In University Classrooms: An Innovative Application Of Pattern Recognition And Classification Neural Network, " 17th CIRIAF National Congress, 2017.
31. X. K. Dang, et al., "Analyzing the sea weather effects to the ship maneuvering in Vietnam's sea from BinhThuan province to Ca Mau province based on fuzzy control method," TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control, vol. 16, no. 2, pp. 533-543, 2018.