УДК 681.5.033.2; 62-533.7

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЮВАННЯМ

Рудавка А. А., Дроменко В. Б.

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. *Дослідження системи, здатної підтримувати параметри мікроклімату цехового приміщення, та вибір оптимальних параметрів системи контролю мікроклімату.*

Методика. *У роботі використані методи апроксимації та наближення; математична лабораторія Matlab; методи аналізу і синтезу систем автоматичного управління і математичний апарат теорії автоматичного управління; математичний апарат нечіткої логіки; а також методики виконання експериментальних досліджень і обробки результатів експерименту.*

Результати. *В статті приведені результати досліджень автоматизованої системи контролю та регулювання параметрів мікроклімату цехового приміщення, що включає нечіткий регулятор.*

Наукова новизна. *Запропоновано модель нечіткого управління системою контролю мікроклімату та регулювання її параметрів. Розроблена модель системи управління з нечітким регулятором параметрів мікроклімату технологічного процесу.*

Практична значимість. *Запропоновані рішення налаштувань параметрів нечіткого регулятора та системи на його основі, які з успіхом можуть бути використані в інших виробничих приміщеннях промислових підприємств України.*

Ключові слова: *мікроклімат, автоматизована система контролю мікроклімату, параметри мікроклімату, регулювання параметрів*

У сучасному промисловому виробництві значна увага приділяється автоматизації систем контролю та регулювання параметрів мікроклімату виробничих приміщень промислових підприємств.

Питаннями дослідження систем автоматизованого управління контролю та регулювання параметрів мікроклімату виробничих приміщень промислових підприємств займались цілий ряд вітчизняних і закордонних науковців серед яких: Пустигін А. Н., Ухаров П. Е., Крушель, Е. Г., Лафонт Ф. Ю., Бродський М. І. та інші.

На даний час детальні дослідження із застосуванням нечіткого регулятора в автоматизованих системах керування параметрами мікроклімату практично не проводились. Тому виникає потреба в проведені подібних досліджень.

Постановка завдання

Завданням здійснюваних досліджень є перевірка працездатності і стійкості запропонованої системи контролю та регулювання параметрами мікроклімату виробничих приміщень промислових підприємств.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

Результати досліджень

Для здійснення стадії підготовки системи нечіткого управління обираємо ефективний сучасний метод моделювання системи [1, 4-5]. Найбільшими можливостями для моделювання систем нечіткого управління має математична лабораторія Matlab компанії Math works Inc. У подальших дослідженнях використовуємо систему Matlab з пакетами розширення Simulink та FuzzyLogic Toolbox.

Як об'єкт дослідження будемо розглядати систему автоматичного управління параметрами мікроклімату, що включає запропонований нечіткий регулятор. Схема досліджуваної системи наведена на рис. 1.

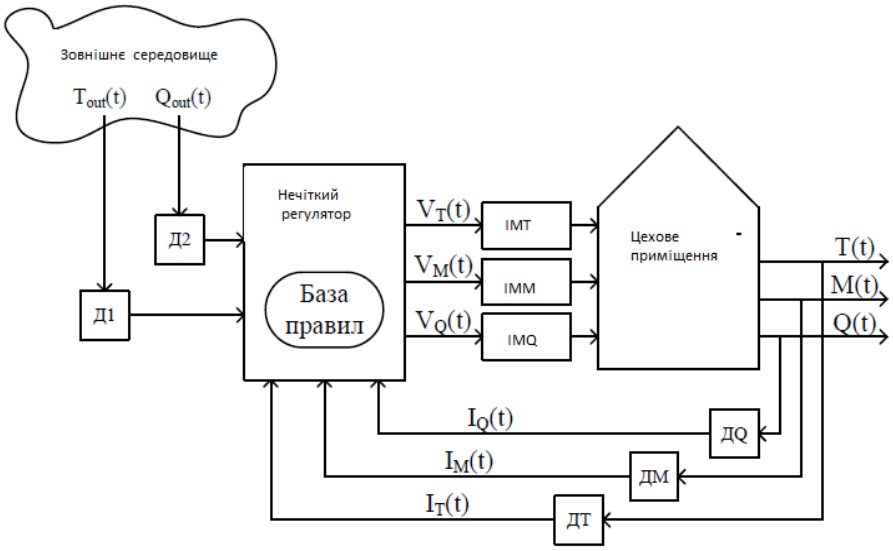

Рис. 1. **Досліджувана система**

Технологічними параметрами процесу є:

T(t) – температура повітря в цеховому приміщенні;

M(t) – вологість повітря;

Q(t) – концентрація вуглекислого газу в повітрі цехового приміщення.

Інформація про технологічні параметри процесу надходить до нечіткого регулятора у вигляді інформаційних сигналів від датчиків ДQ, ДМ та ДТ. Одночасно нечіткий регулятор отримує інформацію про параметри Tout(t) та Qout(t) навколишнього середовища, що формується датчиками Д1 та Д2.

На основі бази правил, що враховують досвід технолога, нечіткий регулятор здійснює логічний висновок і визначає дії, що управляють VT(t), VM(t) та VQ(t) для виконавчих механізмів ІМТ, ІММ та ІМQ в каналах управління температурою T(t),

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

вологістю Q(t) та вмістом вуглекислого газу Q(t). Результатом управління є встановлення таких параметрів мікроклімату технологічного процесу, які найбільшою мірою відповідають умовам функціонування процесу, і подальше автоматичне підтримання цих режимів з одночасним відстеженням всіх змін умов функціонування.

Запропонована модель нечіткого регулятора має 5 вхідних лінгвістичних змінних:

- «T» – температура процесу;
- «M» – вологість процесу;
- «Q» – концентрація вуглекислого газу процесу;
- «Tout» – температура зовнішнього повітря;
- «Qout» – вміст вуглекислого газу в повітрі, що надходить в систему вентиляції.

Виходами моделі нечіткого регулятора є лінгвістичні змінні:

- «HeatValve» – керуючий вплив по контуру опалення;
- «VaporValve» – керуючий вплив по контуру зволоження;
- «AirValve» – керуючий вплив по контуру провітрювання;

Лінгвістичні змінні характеризуються функціями належності фізичних величин до їх термів. Укрупнена структура моделі нечіткого регулятора наведена на рис. 2.

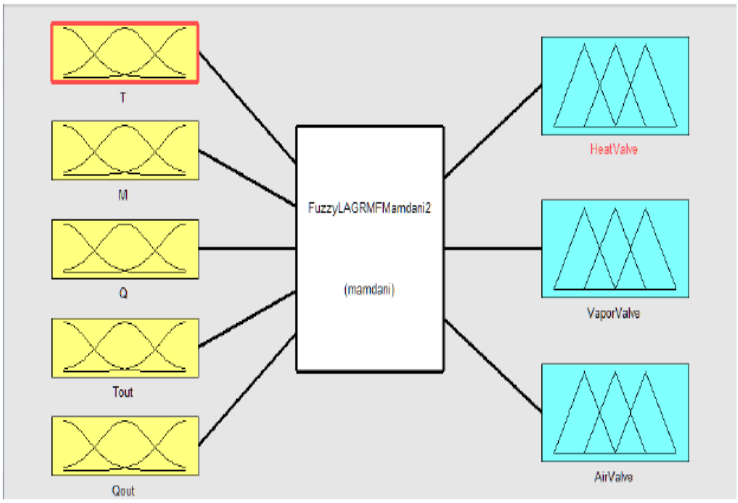

Рис. 2. **Модель нечіткого регулятора в пакеті Fuzzy Logic Toolbox**

Для опису фазифікації фізичних величин вхідної інформації розроблено і впроваджено в пакет Fuzzy Logic Toolbox custom функцію приналежності «lagrmf», що має два власних варіанти «lagrlmf» та «lagrrmf» для крайніх нечітких множин.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

Розроблена функція використовує поліноми Лагранжа п'ятого ступеня і дозволяє моделювати запропоновані в даній роботі оригінальні функції приналежності.

Використовуючи функцію приналежності «lagrmf» вирішимо завдання фазифікація для вхідних лінгвістичної змінної «T», для чого необхідно визначити наступні параметри для кожної функції приналежності:

1) ліве (найменше) крайнє значення нечіткої множини;
2) ядро (центр) нечіткої множини;
3) праве (найбільше) крайнє значення нечіткої множини.

Наприклад, в якості параметрів функції належності терму «sn» вхідної лінгвістичної змінної «T» описаного нечіткою множиною з носієм в межах 18-20 ºС, та ядром в точці 19 ºС слід записати у такому вигляді: 18, 19, 20.

Загальний вигляд всіх функцій приналежності термів вхідних параметрів моделі нечіткого регулятора представлений на рис. 3.

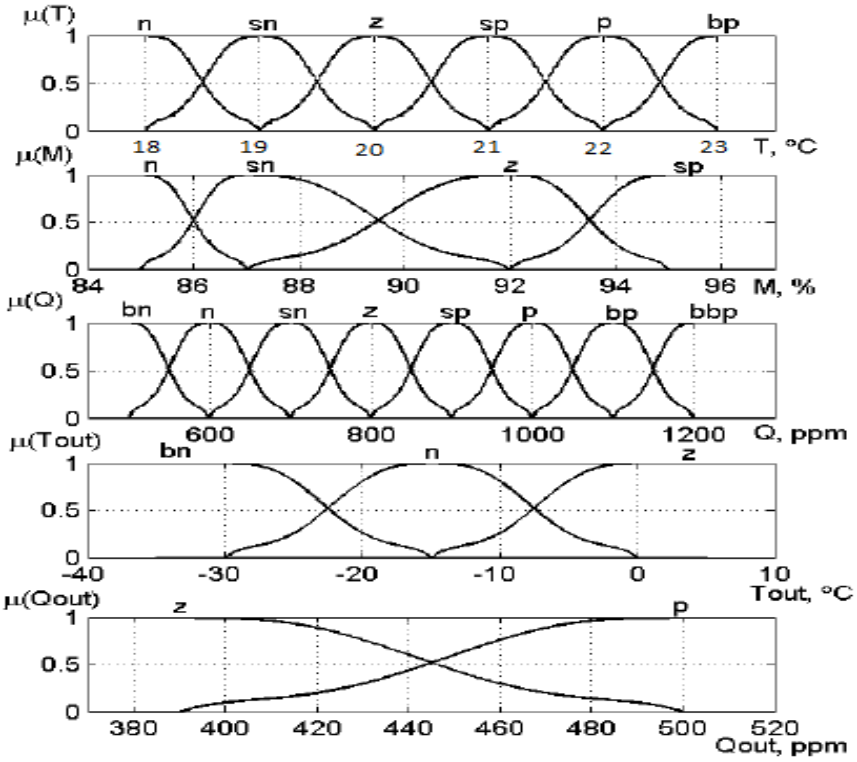

Рис. 3. **Функції приналежності вхідних параметрів нечіткого регулятора**

Для фазифікації вихідних параметрів моделі використовувались стандартні трикутні функції приналежності «trimf».

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

В алгоритмі системи нечіткого виведення для параметрів «And method», «Or method», «Implication», «Aggregation» використовуються наступні значення:

- «And method» – (оператор «І») «MIN»;
- «Or method» – (оператор «АБО») «MAX»;
- «Implication» – (активізація правил) «MIN»;
- «Aggregation» – (акумуляція висновків) «MAX».

В якості методу дефазифікації («Defuzzification») використаний метод центру тяжіння («Centroid»), який в даному окремому випадку (одиничні функції приналежності вихідних параметрів нечіткого регулятора) працює аналогічно методу одноелементних множин.

Matlab-модель системи автоматичного управління параметрами мікроклімату з використанням нечіткого регулятора наведена на рис. 4. У відповідності до структури системи нечіткого управління на рис. 1, модель системи включає модель нечіткого регулятора Fuzzy Climate Control та структуру з динамічних ланок, що враховує динамічні властивості об'єкта управління.

Ланки W-T, W-M, M-Q моделюють динаміку зміни температури, вологості і концентрації вуглекислого газу в технологічному приміщенні, а ланки W-T-Q, W-M-Q – взаємовплив параметрів технологічного режиму.

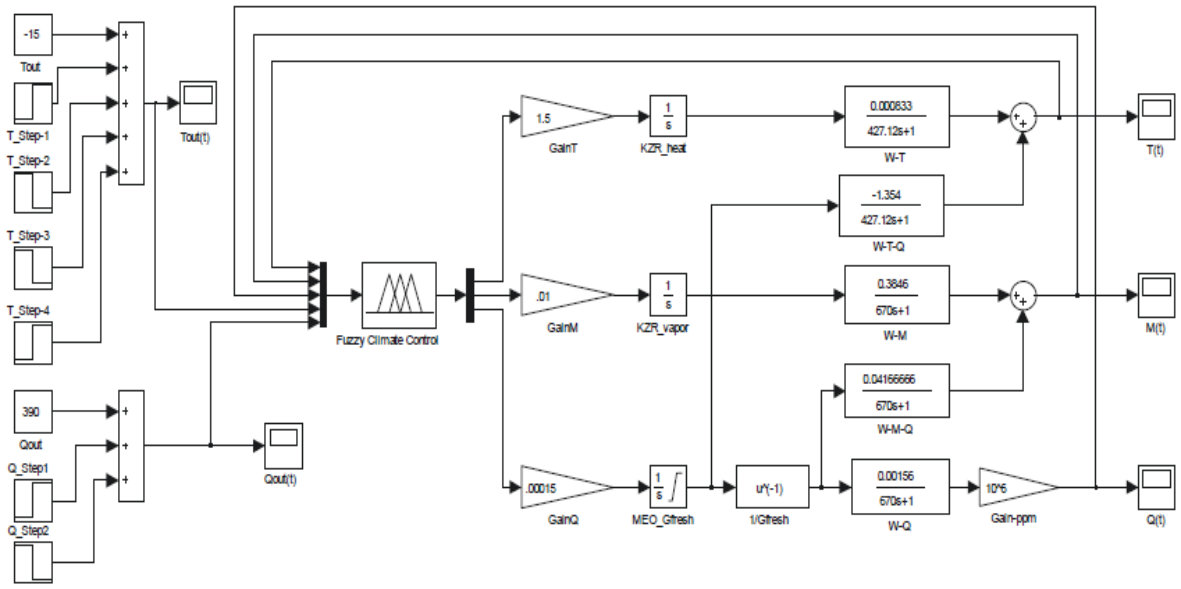

Рис. 4. **Модель системи управління параметрами мікроклімату технологічного процесу з нечітким регулятором**

Нечіткий регулятор Fuzzy Climate Control, змодельований з використанням пакета Fuzzy Logic Toolbox, включений в модель системи у вигляді субмоделі.

На вхід нечіткого регулятора, блок Fuzzy Climate Control, надходить 5 сигналів: значення температури процесу T(t), значення вологості M(t), значення вмісту вуглекислого газу Q(t), значення температури зовнішнього повітря Tout(t) та значення концентрації зовнішнього повітря Qout(t).

Значення перерахованих фізичних величин піддаються фазифікації, і потім здійснюється нечіткий висновок з використанням бази правил нечіткого регулятора. В процесі дефазифікації результуючої функції належності керуючого впливу по кожному каналу управління регулятор формує керуючі впливу: «Упр. T», «Упр. M» та «Упр. Q», що визначають швидкість відкриття/закриття регулюючих органів (виконавчих пристроїв) в каналах управління температурою, вологістю і концентрацією вуглекислого газу.

Автоматична система з нечітким регулятором повинна бути стійкою. Розглянемо вплив нечіткого регулятора на стійкість системи. При дослідженні стійкості припустимо, що розглядаємо нечіткий регулятор як нелінійну ланка і оцінюємо абсолютну стійкість системи із використанням критерію абсолютної стійкості Попова. Структурна схема контуру нечіткого регулювання температури приведена на рис. 5. При дослідженні враховані динамічні властивості об'єкта управління, виконавчого механізму та датчика зворотного зв'язку.

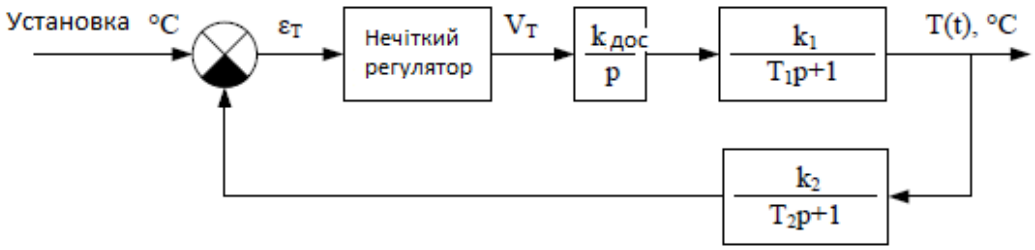

Рис. 5. **Структурна схема контуру температури**

Виконавчий механізм представлений інтегруючою ланкою з параметрами $k_{вик}$ = 1,5; об'єкт управління представлений аперіодичною ланкою з параметрами k_1 = 0,000833 та T_1 =427,12, а також датчик температури, який включений у зворотний зв'язок, представлений аперіодичною ланкою з параметрами k_2 = 1, T_2 = 20. Блок

нечіткого регулятора будемо розглядати як нелінійну частину системи і визначимо кусково-лінійною функцією характеристики «вхід-вихід», яка представлена на рис. 6.

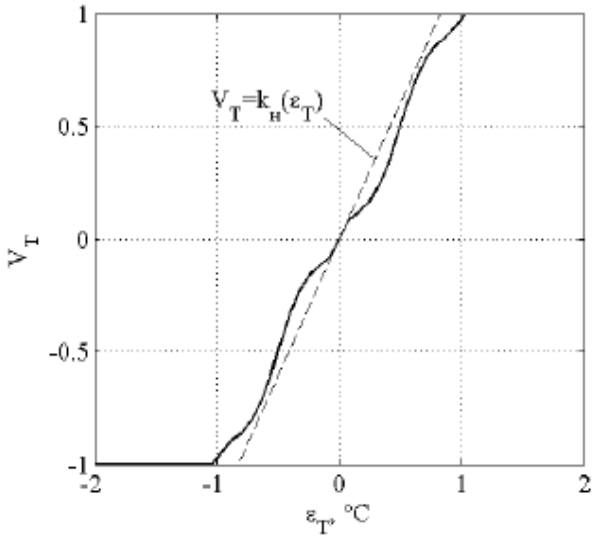

Рис. 6. **Характеристика вхід-вихід нечіткого регулятора**

Згідно з критерієм Попова обмежимо сектор розташування нелінійної характеристики прямою лінією (пунктирна лінія на рис. 6), коефіцієнт нахилу якої дорівнює $k_н$ = 1,11. Ця пряма описується рівнянням $VT = k_н(\varepsilon T)$. Лінійна частина системи представлена передавальною функцією

$$W(p) = \frac{K}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}\ , \qquad (1)$$

де $K = k_{ooc} \cdot k_1 \cdot k_2$.

Для визначення стійкості контуру температури необхідно побудувати модифікований годограф Попова $W^*(j\omega)$, тоді отримаємо частотну передавальну характеристику замінивши $p = j\omega$ в (1)

$$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega(T_1 j\omega + 1)(T_2 j\omega + 1)} = \mathrm{Re}(W(j\omega)) + j \cdot \mathrm{Im}(W(j\omega))\ . \qquad (2)$$

Для розрахунку значення модифікованої частотної характеристики при $\omega = \infty$ перетворимо (2):

$$W^*(\infty) = \frac{-K(T_1 + T_2)}{\left[(T_1 + T_2)\infty\right]^2 + \left[(1 - T_1 T_2 \infty^2)\right]^2} - \frac{jK(1 - T_1 T_2 \infty^2)}{[(T_1 + T_2)\infty]^2 + [(1 - T_1 T_2 \infty^2)]^2} = 0 - j0\ . \qquad (3)$$

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

Таким чином $W^*(\infty) = 0 - j0$. Використовуючи обчислені точки, побудуємо модифікований годограф Попова (в Matlab) для лінійної частини системи із зазначенням точки $-1/k_н$.

Результат побудови модифікованого годографа з контрольною точкою наведено на рис. 7.

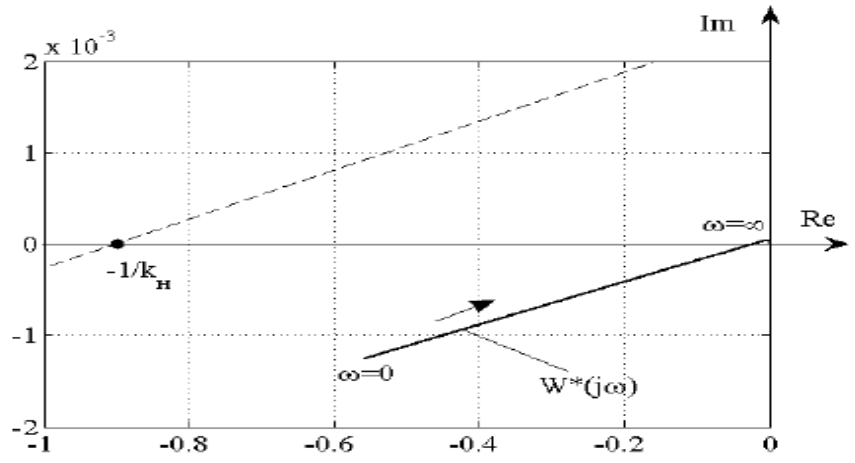

Рис. 7. **Модифікований годограф Попова для контуру температури**

З рис. 7 стає очевидно, що через точку $-1/k_н$ (–0,9; 0), що лежить на осі дійсних значень, можна провести пряму, що не перетинає модифікований годограф і лежить від нього зліва (пунктирна лінія на рис. 7). Отже, за критерієм абсолютної стійкості Попова, контур температури стійкий, і використання нечіткого регулятора не призводить до втрати стійкості системи. З причини однотипності інших контурів, доказ їх стійкості в роботі не наводиться.

У процесі дослідження системи нечіткого управління реєструвалися перехідні процеси для керованих параметрів T(t), M(t), Q(t) технологічного процесу, що виникають при зміні зовнішніх по відношенню до процесу умов (температури Tout(t) зовнішнього середовища і концентрації вуглекислого газу Qout(t) зовнішнього середовища).

Графіки перехідних процесів наведені на рис. 8. Графік на рис. 8, а показує зміну зовнішньої температури навколишнього середовища, а графік на рис. 8, б – зміну зовнішньої концентрації вуглекислого газу, які є збуреннями для технологічного процесу. Задані 4 стрибка температури: –15 ÷ 0 ° С на ділянці 1; 0 ÷ –15 ° С на ділянці 2; –15 ÷ –30 ° С на ділянці 3 і –30 ÷ –15 ° С на ділянці 5. Для зовнішньої концентрації вуглекислого газу задані 2 стрибка: 390 ÷ 500 ppm на ділянці 2 та 500 ÷ 390 ppm на

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

ділянці 4. На рис. 9, в , г, д наведені графіки перехідних процесів для кожної керованої величини, що виникають при дії описаних збурень.

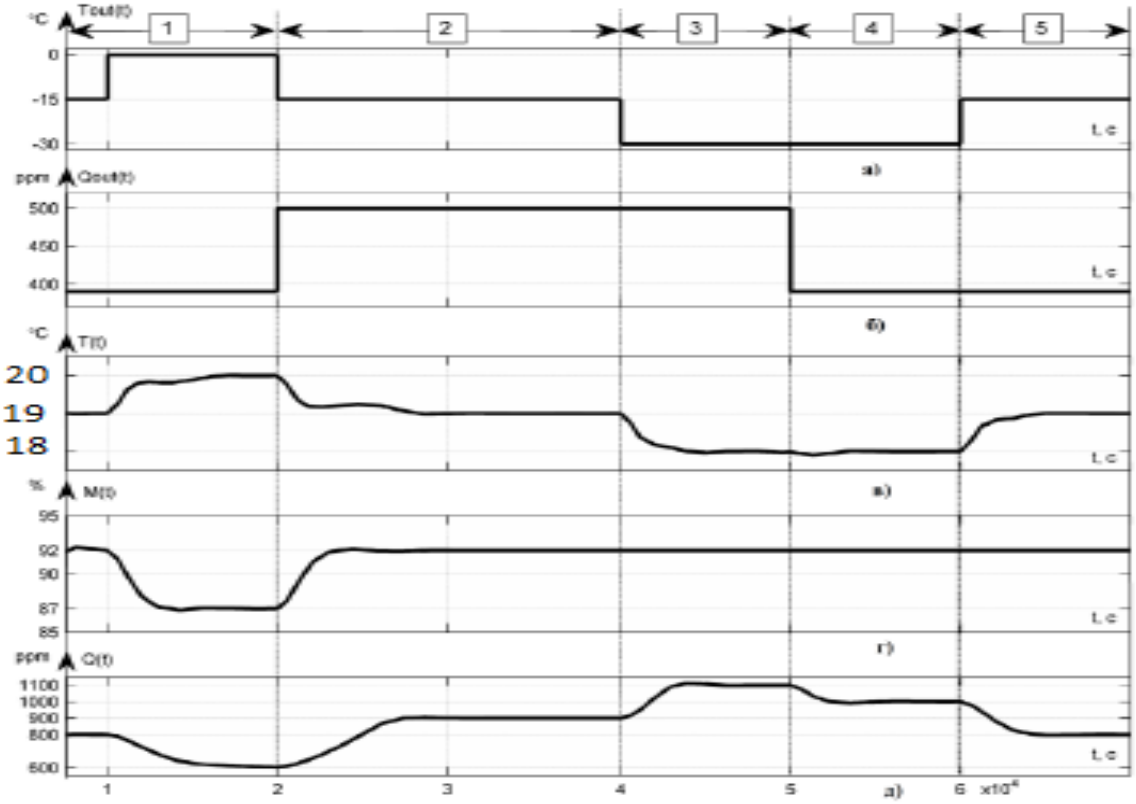

Рис. 8. **Графіки перехідних процесів в системі:**
а – зовнішньої температури;
б – зовнішньої концентрації вуглекислого газу;
в – температури процесу;
г – вологості повітря;
д – концентрації вуглекислого газу

Зовнішня температура 0 ° С та зовнішня концентрація вуглекислого газу 390 ppm розглядаються, як номінальна температура навколишнього середовища (Tout = z) та номінальна концентрація вуглекислого газу (Qout = z), тоді для ділянки 1 діє правило 1 бази правил. При правильному функціонуванні нечіткого регулятора в технологічному приміщенні повинна встановлюватися підвищена температура (T = sp), знижена вологість (M = sn) та занижений вміст вуглекислого газу (Q = n).

Як видно з графіків на рис. 9, на ділянці 1 нечіткий регулятор підвищує температуру в цеховому приміщенні до 20 ° С, знижує вологість до 87 % і знижує концентрацію вуглекислого газу до 600 ppm.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

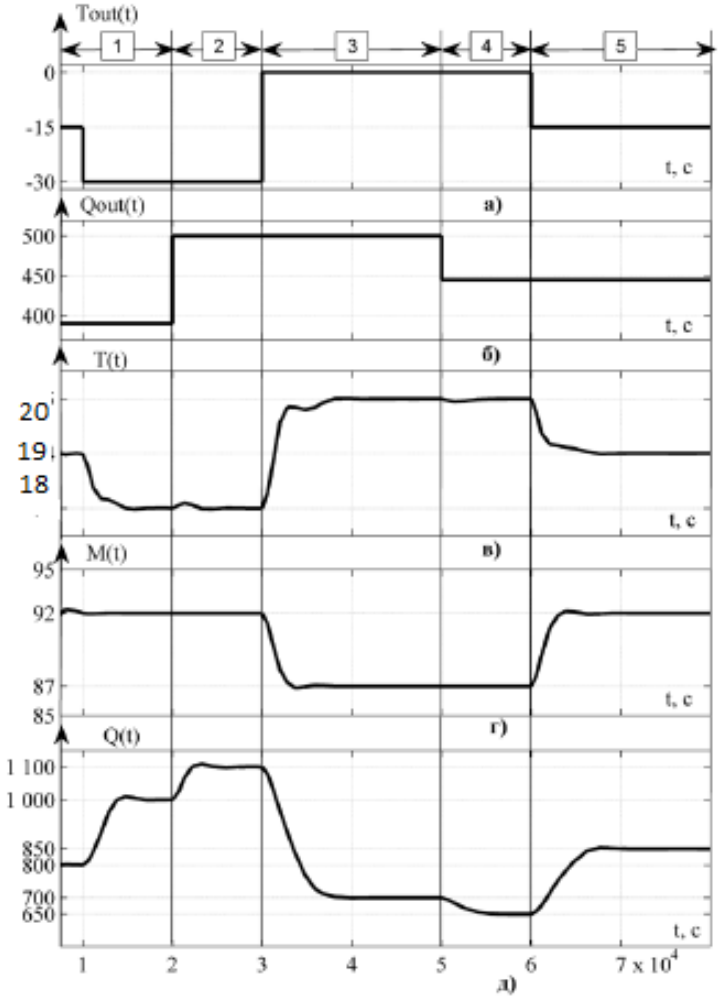

Рис. 9. **Графіки перехідних процесів в системі:**
а – зовнішньої температури;
б – зовнішньої концентрації вуглекислого газу;
в – температури процесу;
г – вологості повітря;
д – концентрації вуглекислого газу

У процесі дослідження системи нечіткого управління реєструвалися перехідні процеси для керованих параметрів T(t), M(t), Q(t) технологічного процесу, що виникають при зміні зовнішніх по відношенню до процесу умов (температури Tout(t) зовнішнього середовища і концентрації вуглекислого газу Qout(t) зовнішнього середовища).

Висновки

Результати моделювання системи нечіткого управління процесом можна охарактеризувати як позитивні. Дослідження в цілому підтвердило правильність

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

принципових рішень системи нечіткого управління процесом і досяжність сформульованих цілей управління.

Список використаних джерел

1. Гостев Р. А. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. / Гостев Р. А. – К. : Радіоаматор, 2008. – 972 с.
2. Пустыгин А. Н. Повышение эффективности энергосберегающей системы автоматического управления температурным режимом в теплице путем улучшения характеристик чувствительности и точности регулирования: дис. … кандидата техн. наук: 05.20.02 / Пустыгин Алексей Николаевич. – Челябинск, 2004. – 303 с.
3. Ухаров П. Е. Методы управления обогревом теплиц в условиях информационной неопределенности: дис. … кандидата техн. наук: 05.13.06 / Ухаров Павел Евгеньевич. – М., 2005. – 165 с.
4. Крушель Е. Г. Нелинейные алгоритмы регулирования микроклимата / Е. Г. Крушель, В. Г. Семенов, И. В. Степанченко, В. В. Сургутанов // Известия ВолгГТУ. – 2007. – № 3. – С. 89-92.
5. Lafont F. Optimized fuzzy control of a greenhouse / F. Lafont, J.-F. Balmat // Fuzzy Sets and Systems. – 2002. – Vol. 128, Issue 1. – P. 47-59.

References

1. Hostev R. A. Nechetkye rehuliatory v systemakh avtomatycheskoho upravlenyia. / Hostev R. A. – K. : Radioamator, 2008. – 972 s.
2. Pustyhyn A. N. Povyshenye effektyvnosty enerhosberehaiushchei systemy avtomatycheskoho upravlenyia temperaturnym rezhymom v teplytse putem uluchshenyia kharakterystyk chuvstvytelnosty y tochnosty rehulyrovanyia: dys. … kandydata tekhn. nauk: 05.20.02 / Pustyhyn Aleksei Nykolaevych. – Cheliabynsk, 2004. – 303 s.
3. Ukharov P. E. Metody upravlenyia obohrevom teplyts v uslovyiakh ynformatsyonnoi neopredelennosty: dys. … kandydata tekhn. nauk: 05.13.06 / Ukharov Pavel Evhenevych. – M., 2005. – 165 s.

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

4. Krushel E. H. Nelyneinye alhorytmy rehulyrovanyia mykroklymata / E. H. Krushel, V. H. Semenov, Y. V. Stepanchenko, V. V. Surhutanov // Yzvestyia VolhHTU. – 2007. – № 3. – S. 89-92.
5. Lafont F. Optimized fuzzy control of a greenhouse / F. Lafont, J.-F. Balmat // Fuzzy Sets and Systems. – 2002. – Vol. 128, Issue 1. – P. 47-59.

Моделирование системы управления параметрами микроклимата с нечетким регулированием

Рудавка А. А., Дроменко В. Б.
Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. *Исследование системы, способной поддерживать параметры микроклимата цехового помещения, и выбор оптимальных параметров системы контроля микроклимата.*

Методика. *В работе использованы методы аппроксимации и приближения; математическая лаборатория Matlab; методы анализа и синтеза систем автоматического управления и математический аппарат теории автоматического управления; математический аппарат нечеткой логики; а также методики выполнения экспериментальных исследований и обработки результатов эксперимента.*

Результаты. *В статье приведены результаты исследований автоматизированной системы контроля и регулирования параметров микроклимата включающий нечеткий регулятор.*

Научная новизна. *Предложена модель нечеткого управления системой контроля микроклимата и регулирования её параметров. Разработана модель системы управления с нечетким регулятором параметров микроклимата технологического процесса.*

Практическая значимость. *Предлагаемые решения настроек параметров нечеткого регулятора и системы на его основе, которые с успехом могут быть использованы на других производственных помещениях промышленных предприятий Украины.*

Ключевые слова: *микроклимат, автоматизированная система контроля микроклимата, параметры микроклимата, регулирование параметров*

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017

Design of control system by the parameters of the microclimate with the unclear adjusting

Rudavka A. A., Dromenko V. B.
Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. *System research, capable of supporting parameters of the microclimate of the shop premises, and the choice of optimal parameters of climate control.*

Methodology. *We used the methods of approximation; mathematics laboratory Matlab; methods of analysis and synthesis of automatic control systems and mathematical apparatus of the theory of automatic control; mathematical apparatus of fuzzy logic; as well as the methodology of the pilot studies and the processing of the experimental results.*

Findings. *The results of research of the automated control system and regulation of microclimate parameters including a fuzzy controller.*

Originality*. The models of the system of fuzzy control system climate control and regulation of the control parameters. A model of the control system with fuzzy control of microclimate parameters of the process.*

Practical value. *Proposed solutions fuzzy controller parameter settings and systems based on it, which can be successfully used in other production areas of industrial enterprises of Ukraine.*

Keywords: *microclimate, automatic climate control system, automated systems, climate conditions, parameters adjustment*

© Київський національний університет технологій та дизайну, 2017