

6. **Boiko, J. M.** *Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels* / J. M. Boiko, A. I. Eromenko // 20th International IEEE conference on microwaves, radar and wireless communications. MIKON-2014.— June 16–18, Gdansk – Poland.— P. 126–129.

7. **Boiko, J.** *Noise immunity assessment in telecommunication systems with cascade encoding structures* / Juliy Boiko, Oleksander Eromenko // TCSET'2014 IEEE. 25 February – 1 March, Lviv – Slavske.— P. 431–433.

8. **Boiko, J. M.** *Improving effectiveness for processing signals in data transmission channels with phase manipulation* / J. M. Boiko // 23rd International IEEE Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» September 9–13, 2013, Sevastopol.— P. 262–263.

9. **Liv, R.** *Securing Wireless Communications at the Physical Layer* / R. Liv, W. Trappe // Springer Science&Business Media, London – USA, 2009.— P. 396.

10. **Бойко, Ю. М.** *Підвищення завадостійкості блоків оброблення сигналів супутникових засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації* / Ю. М. Бойко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика.— К., 2015.— № 61.— С. 91–107.

11. **Boiko, J. M.** *Modeling satellite data transmission channel with cascade signal-code structures* / J. M. Boiko // Modern directions of theoretical and applied researches.— Odessa, 2013.— 19–30 March.

12. **Бойко, Ю. М.** *Дослідження граничної завадостійкості телекомунікаційних систем із ефективним кодуванням* / Ю. М. Бойко, О. І. Єрьоменко // ВІСНИК-15-2015: матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 10–14 вересня 2015 р.).— Одеса: Одес. нац. акад. зв'язку ім. Попова, 2015.— С. 84–86.

Рецензент: доктор техн. наук, професор А. І. Семенко, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Ю. Н. Бойко

ВОЗМОЖНОСТИ ТУРБОКОДОВ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЫИГРЫША В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрены возможности сигнально-кодовых конструкций на основе турбокодов по повышению энергетического выигрыша кодирования в каналах передачи информации с фазовой манипуляцией.

Ключевые слова: турбокоды; сигнально-кодовая конструкция.

J. M. Boiko

THE POSSIBILITIES OF SIGNAL-CODE CONSTRUCTIONS TO IMPROVE ENERGY CODING GAIN IN THE TRANSMISSION INFORMATION CHANNELS

The article deals the possibilities of signal-code constructions based on turbo codes to improve energy coding gain in the channels of transmission information with phase shift keying.

Keywords: turbo-codes; signal-code construction.

УДК 621.398.39

О. М. ТКАЛЕНКО,

Державний університет телекомунікацій, Київ

МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ АРПП

Запропоновано вдосконалену методику параметричного синтезу нечітких (таких, що працюють на базі нечіткої логіки) регуляторів із використанням відповідної математичної теорії і розроблено принципову модель нечіткого регулятора.

Ключові слова: адаптивний радіоканал зв'язку; потужність; нечітка логіка; цифровий нечіткий регулятор; якість; завмирання; синтез; математична модель; математичне моделювання; фазі-система.

Вступ

Аналіз адаптивних систем радіозв'язку показує, що всі способи адаптації ефективні лише тоді, коли на робочих частотах забезпечується достатнє перевищення рівня сигналу над рівнем завад. Один із методів боротьби зі швидкими загасаннями, що має на меті підвищення надійності та економічності зв'язку, полягає у використанні систем автоматичного регулювання потужності передавачів (АРПП). Застосування системи АРПП дозволяє істотно зменшувати середню потужність випромінювання, збільшувати прихованість зв'язку та значно успішніше розв'язувати завдання електромагнітної сумісності різних радіозасобів. Особливої актуальності такі системи набувають тоді, коли йдеться про наддалекі рухомі та стаціонарні ТРЛ.

Система АРПП із погляду теорії автоматичного управління являє собою нестационарну замкнену систему автоматичного управління. Нестационарність системи зумовлюється середовищем поширення сигналу, що входить як ланка у прямий і зворотний канал системи. Функції регулятора для такої системи доцільно покласти на цифровий регулятор, який працює на базі нечіткої логіки.

Основна частина

Система АРПП являє собою блок замкнених активних динамічних систем із від'ємним зворотним зв'язком. Функціональну схему системи АРПП наведено на рис. 1 [7].

Об'єкт регулювання — це приймальний пристрій, який потребує певного рівня НВЧ сигналу $u_c(t)$. Підтримувати цей рівень на вході об'єкта регулювання має відповідна сукупність пристроїв, названа регулятором.

Перетворений вимірювальним елементом (ВЕ) рівень сигналу $u(t)$ порівнюється з рівнем опорної напруги u_0 у пристрої порівняння (ПП) і за результатом цього порівняння виробляється сигнал помилки розузгодження $\delta(t) = u_0 - u(t)$. Цей сигнал перетворюється у формувальному пристрої (ФП) так, аби він набрав форми, зручної для передавання по зворотному каналу, а далі через модулятор і передавач у пункті В передається в бік приймача пункту А на іншій частоті f_2 . Тут цей сигнал виділяється приймачем, перетворюється формувальним елементом (ФЕ) на сигнал управління $\theta(t)$, який надходить на елемент управління (УЕ). Роль УЕ зазвичай відіграє двигун із механізмом регулювання, за допомогою якого перестроюється потужний атенуатор.

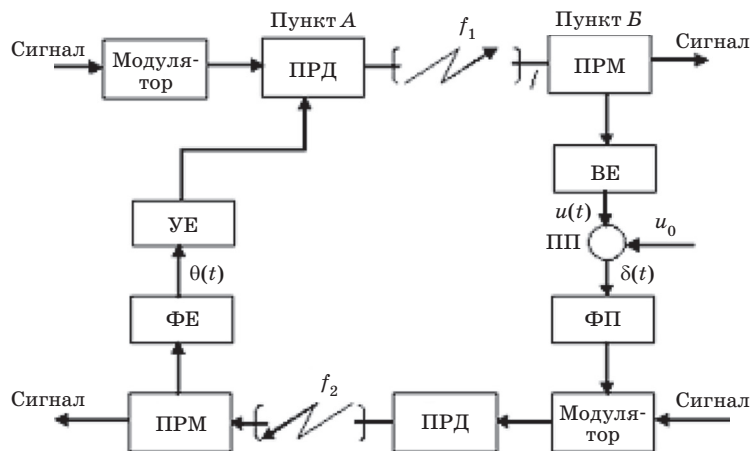


Рис. 1. Функціональна схема системи з АРПП

Останнім часом нечітке моделювання перетворюється на один із найбільш активних і перспективних напрямків прикладних досліджень у галузі управління та ухвалення рішень [9]. Нечітке моделювання особливо корисне, коли опис технічної системи включає в себе невизначеність, яка ускладнює або навіть унеможливує застосування точних кількісних методів і підходів [9].

Нечітка логіка, яка є основою для реалізації методів нечіткого управління, набагато точніше відбиває характер мислення людини та хід її міркувань, ніж традиційні формально-логічні системи. Саме тому вивчення та використання математичних засобів для подання нечіткої вихідної інформації дозволяє будувати моделі, які найбільш адекватно описують різні аспекти невизначеності, невіддільної від реалій навколишнього світу.

Для створення системи АРПП у процесі здійснення радіозв'язку, що забезпечує задану якість зв'язку в разі значних рівнів замирань (параметричних збурень), пропонується синтезувати адаптивну систему управління з цифровими нечіткими регуляторами, що має на меті забезпечити мінімум помилки в установленому режимі.

Щоб створити зазначену систему, необхідно розв'язати таку задачу: виконати структурний синтез системи АРПП у процесі здійснення радіозв'язку, створити її модель та виконати параметричний синтез системи з триканальним цифровим нечітким регулятором, використання якого в системі адаптивного управління дозволить оптимально керувати об'єктом, тобто досягти мети управління.

Функціональну схему системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки (системи управління з нечітким регулятором, або системи фази-управління) наведено на рис. 2.

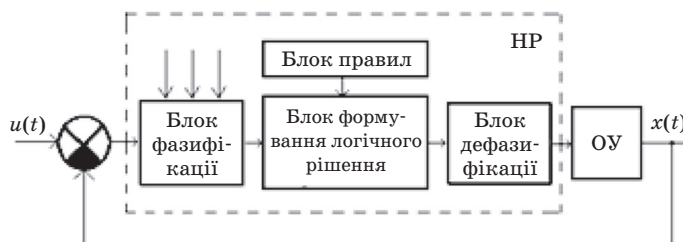


Рис. 2. Функціональна схема системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки

Схема складається з пристрою порівняння, нечіткого регулятора НР, об'єкта управління ОУ та ланки зворотного зв'язку.

Нечіткий регулятор (фазі-регулятор, fuzzy-controller) включає в себе три основні блоки — блок фазифікації (fuzzyfication), блок формування логічного рішення (inference) та блок дефазифікації (defuzzyfication).

У блоці фазифікації вхідні лінгвістичні змінні x_i , $i = \overline{1, n}$, такі як *похибка* θ системи, *швидкість зміни* $\dot{\theta}$ (перша похідна) *похибки*, *прискорення* $\ddot{\theta}$ (друга похідна) *похибки*, якісно характеризуються термножинами (лінгвістичними величинами) a_i^j , такими як *від'ємна мала* (ВМ), *нульова* (Н), *додатно мала* (ДМ), *додатно середня* (ДС), *додатна* (Д), що описуються на універсальній множині U функціями належності (ФН) $\mu(u)$. ФН визначає ступінь належності кожного елемента u множині U за допомогою числа між нулем та одиницею, яке називають *ступенем істинності* розглядуваної лінгвістичної змінної щодо даного терма. Діапазони зміни вхідних змінних, наприклад $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$, $[\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}]$, $[\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}]$, та поточні значення вхідних змінних зазнають перерахунку (відображаються) на єдину універсальну множину $U_i = [0, L_i - 1]$, де L_i — число, яке відповідає кількості термів кожної лінгвістичної змінної x_i , $i = \overline{1, n}$. (Як правило, кількість j термів для кожної лінгвістичної змінної вибирається одним і тим самим). Таким чином, для кожного поточного значення вхідної змінної визначається ступінь належності (значення істинності) щодо тих термів (нечітких підмножин), які характеризують цю лінгвістичну змінну. Оскільки ФН звичайно перекривають одна одну, то для однієї і тієї самої вхідної змінної кілька ФН можуть набувати різних значень істинності, відмінних від нуля [12; 13].

У блоці формування логічного рішення на основі матриці знань (бази правил) записуються лінгвістичні правила типу ЯКЩО (вихідний стан), ТО (реакція у відповідь), які разом зазвичай називають *робочим правилом*. Взаємодія між вхідними та вихідними ФН типу ЯКЩО — ТО позначається як імплікація (логічна зв'язка). Частина ЯКЩО (передпосилка) означає поєднання логічних операцій, а частина ТО (розв'язок, висновок) звичайно являє собою просте вказування лінгвістичної величини для вихідної дії (управляючої дії на об'єкт управління) нечіткого регулятора. За допомогою відповідного формулювання правил досягається результат, за якого для будь-якої лінгвістичної величини управляючої дії принаймні одне з правил прийнятне. Найчастіше використовується «мінімакський» (Max-Min Inference) метод логічного розв'язання, коли спочатку ФН частини ТО кожного з правил об'єднуються зі значенням істинності частини ЯКЩО (при цьому ФН частини ТО обмежується значенням істинності частини ЯКЩО — це «міні»-операція), а потім з обмежених ФН частини ТО взаємним накладанням вибирається результуюча ФН із максимальним значенням істинності («макс»-операція). Ця результуюча ФН визначає поточну дію бази правил. Процедура обробки бази правил із формуванням результуючої ФН являє собою логічне рішення для розрахунку вихідного значення НР.

Нечіткий регулятор практично реалізується на мікроЕОМ (або мікропроцесорі) та працює у дискретному режимі [1], тому система автоматичного управління з нечітким регулятором містить пристрої поєднання мікроЕОМ з об'єктом управління — аналого-цифровий перетворювач АЦП та цифроаналоговий перетворювач ЦАП. Структурну схему системи управління з нечітким регулятором наведено на рис. 3.

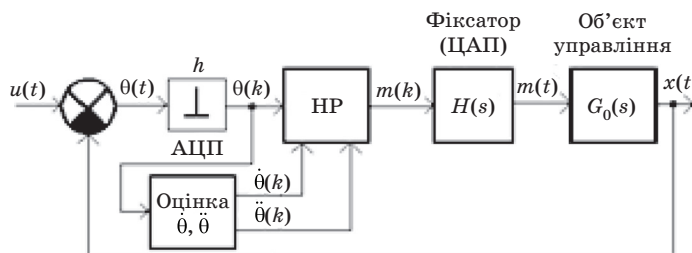


Рис. 3. Структурна схема системи управління з нечітким регулятором

АЦП квантує неперервну похибку $\theta(t) = u(t) - x(t)$ із кроком квантування h . Роль першої та другої похідних від похибки зазвичай відіграють перша та друга різниці, що визначаються за формулами:

$$\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h; \quad (1)$$

$$\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h = [\theta(k) - 2\theta(k-1) + \theta(k-2)]/h^2, \quad (2)$$

де $\theta(k)$ — квантована помилка на виході АЦП. ЦАП являє собою, як правило, фіксатор нульового порядку з передатною функцією:

$$H(s) = (1 - e^{-hs})/s. \quad (3)$$

Спинимось на деяких особливостях нечіткого регулятора. НР працює в дискретному режимі, тому на кожному кроці квантування h він має виконувати всі необхідні обчислення. НР опрацьовує всі вхідні змінні, тому на нього можна подавати додаткові змінні, які характеризують процеси в об'єкті управління, забезпечуючи тим самим ширшу дію на динаміку управління. Система з НР стійка відносно змін параметрів об'єкта управління, що пов'язано з нечіткою природою правил функціонування. Традиційні методи опису регуляторів за допомогою передатних функцій для НР не підходять. Сам НР нелінійний, і його особливістю є відсутність у ньому динаміки. Відсутність «пам'яті», процедура проектування, а також словесний опис процесу управління, що характеризується лінгвістичними правилами, — це головні особливості НР [2–5].

Нечіткі регулятори реалізуються на практиці, як правило, у формі програмного забезпечення високого рівня. При цьому за результатами моделювання та випробувань системи управління, яка містить НР у замкненому контурі, можна змінювати кількісні діапазони лінгвістичних змінних і функції належності та модифікувати базу правил з метою отримання необхідної якості управління.

Нечіткі регулятори становлять інтерес насамперед для управління об'єктами, які майже або зовсім не піддаються формалізованому опису. Проте навіть коли йдеться про управління об'єктами, для яких побудовано математичні моделі, НР часто мають перевагу, оскільки дозволяють отримати вищу якість роботи систем управління.

Оскільки алгоритми управління на базі нечіткої логіки можуть бути реалізовані лише з використанням ЕОМ, то САУ з нечітким регулятором є цифровою [9]. Найважливішою характеристикою цифрової САУ є крок квантування h (інтервал дискретизації аналогового сигналу) [8]. Значення параметра h визначає значення інших параметрів цифрової САУ, особливо параметрів традиційних цифрових регуляторів. Тому при проектуванні систем управління з нечіткими регуляторами необхідно приділяти увагу вибору значення кроку квантування h .

При формуванні структурних схем систем управління з нечіткими регуляторами важливим є вибір вхідних параметрів нечіткого регулятора [4]. Лінгвістичні правила управління самі по собі не можуть бути реалізовані на сучасних ЕОМ. Необхідна процедура їх формалізації. Тому дуже важливе завдання полягає у виборі методу формалізації експертних знань. А оскільки нечіткі множини формалізуються за допомогою ФН, важливу роль відіграє вибір їх типу та параметрів [3]. При реалізації нечіткого управління особливої ваги набуває методика параметричного настроювання НР [5].

Для моделювання нечітких регуляторів система MATLAB має спеціальний інструментарій. Повна структурна схема нечіткого регулятора (рис. 4) у системі управління складається з фіксатора *Zero-Order Hold* (який працює з кроком моделювання h_0), блоків оцінювання першої та другої похідних похибки системи, двох блоків нормування вхідних (*normin*) та вихідного (*normout*) сигналів, центрального блока нечіткого регулятора *Fuzzy Logic Controller* та вихідного фіксатора *Zero-Order Hold1* (який працює з кроком квантування h_0). Блоки нормування вхідних (*normin*) і вихідного (*normout*) сигналів та центральний блок *Fuzzy Logic Controller* у системі MATLAB об'єднано в блок *Controller*.

У центральному блоці нечіткого регулятора *Fuzzy Logic Controller* (див. рис. 4) вибирають функції належності *membership functions* та задають базу правил *rules*.

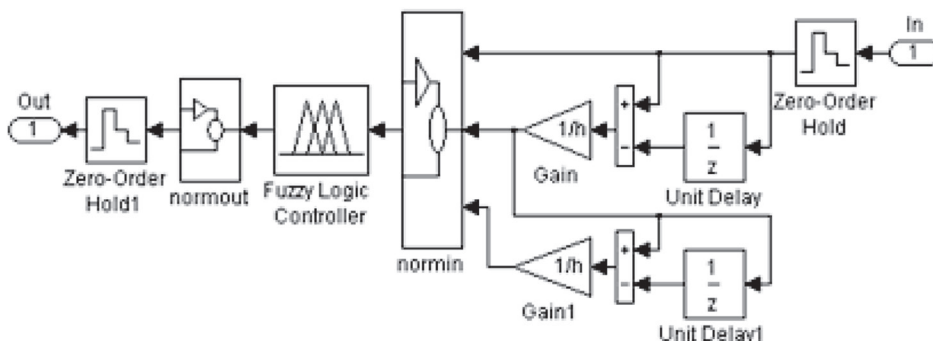


Рис. 4. Структурна схема нечіткого регулятора

Блоки оцінювання першої та другої похідних від похибки реалізують управління:

$$\dot{\theta}(k) = [\theta(k) - \theta(k-1)]/h, \quad \ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]/h. \quad (4)$$

Для спрощення нормування (перерахунку значень сигналів у значення елементів єдиної універсальної множини) діапазони зміни вхідних і вихідного сигналів (параметрів нечіткого регулятора) беремо симетричними [5; 6]:

$$\theta_{\max} = -\theta_{\min}; \quad \dot{\theta}_{\max} = -\dot{\theta}_{\min}; \quad \ddot{\theta}_{\max} = -\ddot{\theta}_{\min}; \quad m_{\max} = -m_{\min}. \quad (5)$$

Тому формули перерахунку набирають вигляду:

$$u_1^* = -(\theta^* - \theta_{\min}) / (2\theta_{\min}); \quad (6)$$

$$u_2^* = -(\dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min}) / (2\dot{\theta}_{\min}); \quad (7)$$

$$u_3^* = -(\ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min}) / (2\ddot{\theta}_{\min}); \quad (8)$$

$$m^* = m_{\min} (1 - 2u_c^*). \quad (9)$$

На основі формул (6)–(9) побудовано структурні схеми блоків нормування вхідних (*normin*) та вихідного (*normout*) сигналів, наведені відповідно на рис. 5, а, б.

Значення діапазонів *A*, *B*, *C*, *D* при настроюванні (оптимізація параметрів) нечіткого регулятора добирають уручну або автоматично розв'язуванням оптимізаційної задачі.

На основі зазначеного математичного апарату подамо методику параметричного синтезу нечітких цифрових регуляторів.

1. Як вхідні змінні НР використовуємо похибку θ , першу похідну $\dot{\theta}$ та другу похідну $\ddot{\theta}$ похибки. Вихідна змінна — управляючий вплив m на об'єкт управління.

2. Виконуємо вибір виду ФН нечітких термів, які оцінюють вхідні та вихідну змінні НР на універсальній множині $[0,1]$. Для кожної змінної вибираємо два терми, наприклад: *похибка — додатна, від'ємна*. При цьому ФН — неперервні на універсальній множині, симетричні (одна — спадна, друга — зростаюча), що перетинаються при значенні абсциси 0,5.

3. Формуємо два (за кількістю термів) лінгвістичні правила управління і здійснюємо їх формалізацію за допомогою системи логічних рівнянь.

4. Задаємо початкові значення оптимізовуваних діапазонів зміни вхідних і вихідної змінних НР та параметрів ФН.

5. Задаємо крок квантування h і часовий інтервал спостереження, а далі вибираємо критерій якості та метод оптимізації.

6. Розраховуємо критерій якості методом моделювання з кроком h_0 замкненої системи при заданих задавальному та завадовому впливах для вибраного інтервалу спостереження. При цьому здійснюється:

- а) перехід від значень вхідних змінних НР, виражених у фізичних величинах, до відповідних значень універсальної множини, на якій задано ФН нечітких термів;
- б) вибір методу дефазифікації та розрахунок виходу НР;
- в) перехід від знайденого значення виходу НР на універсальній множині до значення m управляючого впливу;
- г) розрахунок виходу об'єкта управління при заданому m ;
- д) обчислення значення поточної похибки в САУ для кожного h_0 ;
- е) розрахунок значення критерію якості для вибраного часового інтервалу спостереження.

7. Процедура повторюється доти, доки не буде отримано або мінімальне значення критерію якості, або таку якість системи управління з НР, яка задовольняє виробника. Відповідні цій ситуації значення параметрів НР (діапазонів зміни вхідних і вихідної змінних та параметрів ФН) вибираються як оптимальні.

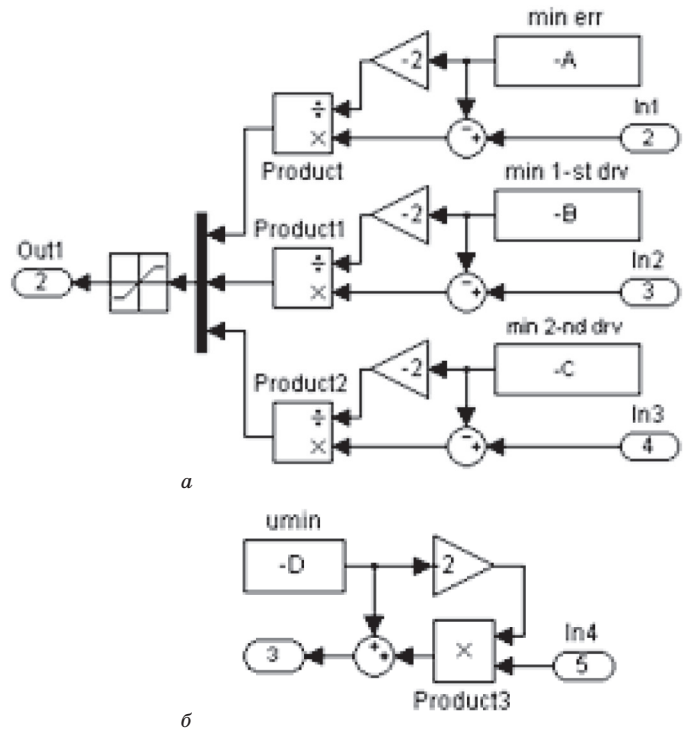


Рис. 5. Структурні схеми блоків нормування сигналів:
а — вхідних; б — вихідного

Висновки

При управлінні технічними системами нечітке моделювання дозволяє отримувати більш адекватні результати, ніж ті, що спираються на використання традиційних аналітичних моделей і алгоритмів управління.

Актуальність нечіткого моделювання та його переваги порівняно з відомими і класичними концепціями моделювання та управління зумовлюються підвищенням складності математичних і формальних моделей реальних систем і процесів управління, яка, у свою чергу, пов'язана з намаганням досягти максимальної їх адекватності та врахувати якомога більше різних факторів, що впливають на процеси ухвалення рішень.

З одного боку, традиційні методи побудови моделей не забезпечують задовільних результатів, коли вихідний опис поставленої проблеми завідомо неточний або неповний. А з другого боку, намагання отримати вичерпну інформацію для побудови точної математичної моделі як найскладнішої реальної ситуації може призвести до марнування часу та засобів, оскільки це може бути в принципі нездійсненне завдання.

У таких ситуаціях найбільш доцільно скористатися методами, спеціально зорієнтованими на побудову моделей, що враховують неповноту та неточність вихідних даних.

Запропоноване в цій статті удосконалення методики параметричного синтезу цифрових нечітких регуляторів на базі математичної теорії нечіткої логіки з розробкою основної моделі нечіткого регулятора доводить, що технологія нечіткого моделювання як найбільш конструктивна дає змогу розв'язувати сотні практичних задач управління та ухвалення рішень.

Література

1. Гостев, В. И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев. — К.: «Радиоаматор», 2003. — 512 с.

2. Гостев, В. И. Статистические характеристики «вход-выход» цифровых нечетких регуляторов / В. И. Гостев, В. В. Крайнев, Г. Я. Криховецкий // Вісник ДУІКТ. — 2004. — Т. 2, № 2. — С. 73–76.

3. Гостев, В. И. Функции принадлежности для нечетких регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев, В. В. Крайнев, Г. Я. Криховецкий // Вісник ДУІКТ. — 2004. — Т. 2, № 1. — С. 30–32.

4. Гостев, В. И. Выбор входных параметров при настройке нечетких регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев, В. В. Крайнев, С. Н. Скуртов // Вісник технолог. ун-ту Поділля (м. Хмельницький). — 2002. — № 3, т. 2 (41). — С. 15–18.

5. Гостев, В. И. Выбор функций принадлежности и настройка нечетких регуляторов систем автоматического управления / В. И. Гостев, В. В. Крайнев, С. Н. Скуртов // Автоматизация виробничих процесів. — 2002. — № 1(14). — С. 162–167.

6. Гостев, В. И. Оптимизация параметров цифровых нечетких регуляторов / В. И. Гостев, И. П. Лесовой, А. Е. Чуприн // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. — 2001. — № 1. — С. 148–151.

7. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. — 832 с.

8. Кондрашов, В. Е. MATLAB как система программирования научно-технических расчетов / В. Е. Кондрашов, С. Б. Королев. — М.: Мир, 2002. — 359 с.

9. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Перербург, 2003. — 736 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор **Б. Ю. Жураковський**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. Н. Ткаленко

МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ АРМП

Рассмотрена усовершенствованная методика параметрического синтеза нечетких (работающих на базе нечеткой логики) регуляторов с использованием соответствующей математической теории и разработана основная модель нечеткого регулятора.

Ключевые слова: адаптивный радиоканал связи; мощность; нечеткая логика; цифровой нечеткий регулятор; качество; замедления; синтез; математическая модель; математическое моделирование; фаззи-система.

O. M. Tkalenko

METHODS OF PARAMETRIC SYNTHESIS OF THE DIGITAL FUZZY CONTROLLERS FOR USE IN SYSTEMS ACPT

The article describes an improved method of parametric synthesis of fuzzy (which operate on the basis of fuzzy logic) controllers based on the mathematical theory of fuzzy logic and developed the basic model of a fuzzy controller.

Keywords: an adaptive radio communication channel; power; fuzzy logic; digital fuzzy controller; quality; fading; synthesis; mathematical model; mathematical simulation; fuzzy-system.