

УДК 681.515

ДЕНОРМАЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ У СИСТЕМАХ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

М. М. Луцків

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів 79020, Україна

Запропонована схема блока денормалізації нормованого завдання і управління для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт у системах автоматичного керування з нечітким регулятором, розглянуто приклад застосування у простій версії нечіткого П-регулятора для інерційного об'єкта другого порядку, подані результати імітаційного моделювання для різних значень вхідного завдання.

Ключові слова: нечіткий регулятор, об'єкт, денормалізація, система, фузифікація, управляюча дія, якість, регулююча точність.

Постановка проблеми. До сьогодні вимоги щодо якості готової продукції та зменшення затрат на її виготовлення ставлять нові задачі при проектуванні систем автоматичного керування технологічними процесами і об'єктами, при неповній інформації про об'єкт та зміні його параметрів у часі та дії різних впливів. Розв'язання цих задач традиційними методами і засобами істотно ускладнюються. Реалізація таких систем на основі принципів інтелектуального керування [6], які базуються на формуванні стратегії керування об'єктом за допомогою логічних правил вибору управління мають ряд недоліків, зокрема: складність формування структури регулятора і її технічна реалізація, велика кількість параметрів, що можуть бути змінені, ускладнює розв'язання задачі параметричної оптимізації, що обмежує їх застосування. Тому для простих об'єктів регулювання почали застосовувати нечіткі регулятори, які мають простішу структуру, меншу кількість логічних правил і забезпечують значно кращу якість регулювання при варіації параметрів об'єкта і дії різних впливів ніж традиційні регулятори, які є чутливі до зміни коефіцієнта передачі і сталих часу, що викликає значну коливальність виходу системи, що погіршує якість готової продукції.

У доступних джерелах подані різні версії нечітких регуляторів, бази правил, структурні схеми у вигляді «чорного прямокутника», однак невідома схема контролера та їх параметри, що утруднює їх, практичну реалізацію для простих об'єктів регулювання [4, 5, 6]. Отже, опрацювання схеми блоку денормалізації нормованого завдання і управління для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розрахунок системи автоматичного керування полягає у виборі регулятора (алгоритму управління) і визначенні параметрів налагодження цього регулятора згідно з вимогами до яко-

сті регулювання під час експлуатації системи. Для вибору типу традиційного регулятора і розрахунку значень його параметрів налагодження необхідно знати параметри об'єкта регулювання (необхідна модель об'єкта). Існують різні методи та спрощені методики, розрахункові формули і таблиці для визначення параметрів регулятора [1, 4]. Основним недоліком систем автоматичного керування з традиційними регуляторами є чутливість до зміни параметрів об'єкта, що викликає значну коливальність системи, що погіршує якість готової продукції. Для забезпечення якості регулювання при варіації параметрів об'єкта застосовують адаптивні та робастні системи [5]. Однак, такі системи є складні та дорогі, що обмежує їх застосування.

Інтенсивний розвиток нечіткої логіки у кінці минулого століття призвів до її застосування в системах автоматичного керування. Основи теорії моделювання і нечіткого керування викладені в монографії [6], де подані різні версії нечітких регуляторів, бази правил, структурні схеми різноманітних регуляторів та їх аналіз. Натомість в монографії [4] подано лінгвістичний опис, структурні схеми в Simulink типових нечітких регуляторів і результати імітаційного моделювання у вигляді графіків перехідних характеристик нечітких систем. У доступних джерелах подані різні версії нечітких регуляторів і їх схем у вигляді «чорного прямокутника», однак невідома схема контролера та його параметри, що утруднює їх практичну реалізацію [4, 5, 6].

Нечітка логіка працює із нормованими функціями належності тому сигнали управління, які формують нечіткі регулятори повинні бути нормовані і знаходитися в межах $[0...1]$. Натомість для реальних об'єктів необхідна фізична регулююча дія, а не нормована і задане значення входу, а не нормоване одиничне завдання. Однак ці питання з відомих причин у доступних джерелах не подають, що утруднює їх практичну реалізацію. Отже, опрацювання схеми блоку денормалізації нормованого управління і завдання для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт у системах із нечіткими регуляторами є актуальною задачею.

Мета роботи. Опрацювати схему блоку денормалізації нормалізованого управління і завдання для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт і проаналізувати її роботу у системі автоматичного керування з нечітким П-регулятором методом імітаційного моделювання, необхідне для практичних застосувань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для формування управління у системах із нечіткими регуляторами застосовують нечіткі перетворення похибки регулювання (відхилення регульован величини від заданого значення) відповідно до прийнятого алгоритму управління, зокрема, фузифікацію похибки та інференцію. Нечіткий регулятор є статичним регулятором. Застосовуючи різні форми функцій належності нечітких множин, можна отримати різні характеристики регулятора та їх нечіткі версії. Враховуючи практичну сторону поставленої задачі, розглянемо її застосування у простій системі з нечітким П-регулятором. Для порівняння спочатку розглянемо класичний алгоритм управління, який подано виразом (1)

$$U = \frac{K_0}{K_p} \times e, \quad (1)$$

де U – управління на об'єкт (регулююча дія),

K_p – коефіцієнт передачі регулятора,

e – похибка регулювання (відхилення регульованої величини від заданого значення).

Розглянемо нечітку версію П-регулятора, основу на знаннях стану процесу регулювання, застосувавши лінгвістичні змінні: якщо стан процесу (похибка) додатня/від'ємна, то управління додатнє/від'ємне [4, 6], одержимо спрощену версію нечіткого П-регулятора з обмеженою базою правил:

$$\begin{aligned} R_1: & \text{ЯКЩО } (e = D), \text{ ТО } (U = D) \\ R_2: & \text{ЯКЩО } (e = B), \text{ ТО } (U = B), \end{aligned} \quad (2)$$

де D і B – нечіткі множини типу ліва і права зовнішня [6].

Для побудови нечіткого регулятора застосуємо нечіткі множини типу $B = L$ – ліва і $D = P$ – права зовнішні множини [6]. Основним параметром нечіткого П-регулятора є центр функцій належності та ширина вікна. Найчастіше застосовують симетричні функції належності. Широке вікно функцій належності відповідає малому підсиленню регулятора, натомість вузьке вікно підвищує чутливість регулятора. Алгоритм управління нечіткого регулятора сформульований у легко зрозумілих лінгвістичних правилах (2), а не в математичному описанні (1). На основі бази правил (2) і вибраних функцій належності опрацьована структурна схема системи автоматичного керування інерційним об'єктом регулювання другого порядку із спрощеною версією П-регулятора і блоком денормалізації у пакеті Matlab:Simulink (рис. 1).

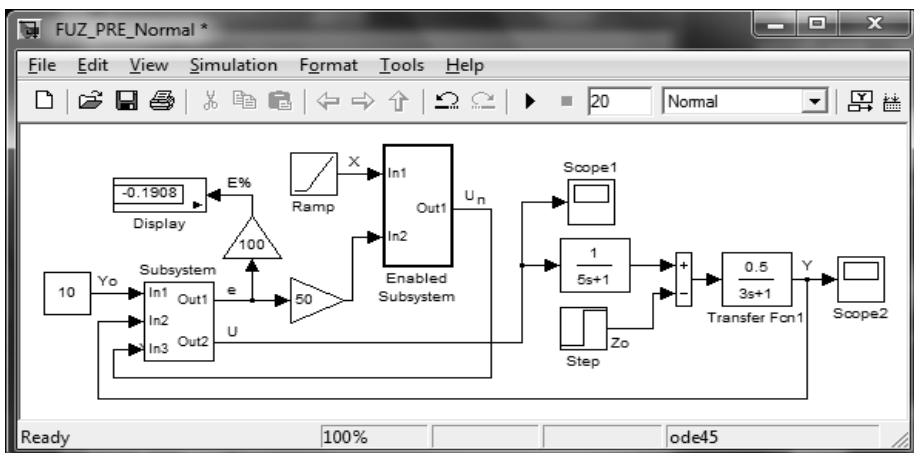


Рис. 1. Вікно системи автоматичного керування із нечітким П-регулятором

Нечіткий регулятор замаскований у субблоці *Enabled Subsystem*. Праворуч розташована модель об'єкта регулювання, подана передавальними функціями (блоки *Transfer Fcn*). Блок *Step* імітує ступеневе збурення Z_0 на об'єкт. Блок *Ramp* активізує нечіткі моделі лінійнозростаючим сигналом x . Операційні блоки *Scope* служать для графічної візуалізації управляючої дії на об'єкт і регульованої величини.

Ліворуч розташована схема блока денормалізації, замаскована у блоці *Subsystem*. На його вхід подаються задане значення Y_0 регульованої величини, вихід системи Y і нормалізоване управління U_n сформоване нечітким П-регулятором. На їх основі визначається похибка регулювання. За умови, що на вхід системи задається неединичне завдання

$$\varepsilon = 1(t) - \frac{Y}{Y_0}, \quad (3)$$

де $1(t)$ – одиничний сигнал активації блока. Для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт нормоване управління денормалізується залежно від завдання Y_0 за виразом

$$U = N * Y_0 * U_n. \quad (4)$$

Номінальне значення коефіцієнта денормалізації залежить від коефіцієнта передачі об'єкта

$$N \geq \frac{3}{k_0}. \quad (5)$$

На основі викладеного і виразів (3)-(5)... опрацьована схема блока денормалізації, реалізована засобами *Simulink* і замаскована у блоці *Subsystem* структурна схема якого подана на рис. 2.

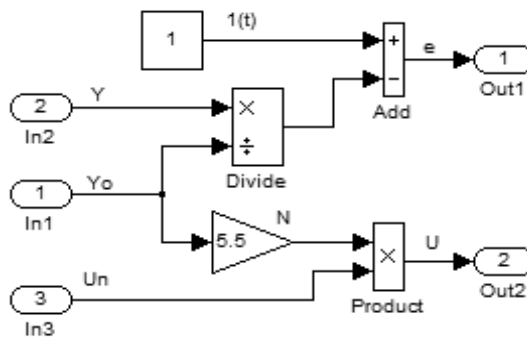


Рис. 2. Структурна схема блока денормалізації

Виходом блока є похибка для неединичного завдання і регулююча дія U на об'єкт. Для виконання операцій ділення застосовано блок *Divide*, а для множення *Product*.

У склад простого нечіткого регулятора входять два основні блоки (рис. 3) – фузифікації та висновкування, замасковані у субблоці *Enabled Subsystem*.

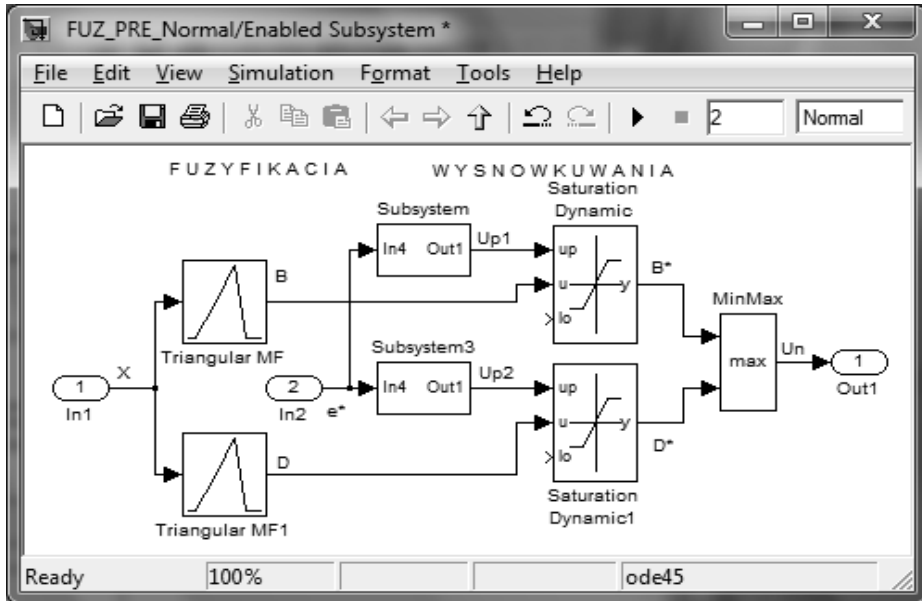
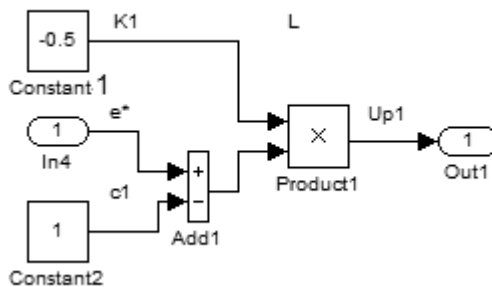


Рис.3. Вікно нечіткого П-регулятора

Блок фузифікації здійснює розмивання вхідного підсиленого сигналу похибки e^* за допомогою двох операційних блоків *Triangular MF* функцій належності множин B і D . Згенеровані функції належності подаються на вхід блока висновкування, який формує вихідну результуючу функцію належності. Висновкування здійснюється методом модифікації функції належності (метод Мамдані) шляхом перетину вхідних функцій належності до висоти обмеження U_p для вхідного сигналу e^* , який подається на вході блоку *Saturation Dynamic* (динамічне обмеження). Схема формування сигналів обмеження замаскована у блоках *Subsystem* подана на рис.4.

Рис. 4. Схема формування сигналу обмеження для множин типу L

На вхід системи подається чіткий вихідний сигнал похибки e^* регулювання. Сигнал обмеження визначається на основі параметрів вхідних множин

$$\begin{aligned} U_{p1} &= (e^* - a_1)K_1 \\ U_{p2} &= (c_2 - e^*)K_2, \end{aligned} \quad (6)$$

де a_1, c_2 – параметри функцій належності $p = [a_p, b_p, c_p]$ для заданих множин B і D .

Коефіцієнти K_1 і K_2 описують нахил лівої (K_1) і правої (K_2) сторони функції належності та обчислюються виразами

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{1}{b_i - a_i} \\ K_2 &= \frac{1}{c_i - b_i}, \end{aligned} \quad (7)$$

де a_i, b_i, c_i – параметри функції належності і заданих множин B і D .

Оскільки в робочій зоні похибка регулювання знаходиться в околі нуля, у якій множини B і D є семетричними функціями належності, тоді $K_1 = K_2$, однак мають різні знаки (-, +). Сформовані таким чином сигнали U_{p1}, U_{p2} подаються на вхід блоків *Saturation Dynamic*, у якому відбувається їх обмеження і змодифіковані таким чином множини B^*, D^* подаються на вхід операційного блока MinMax (max) на виході якого одержується результуюча функція належності висновкування, яка є нормованим виходом U_n нечіткого регулятора. Після його денормалізації одержується регулююча дія на об'єкт.

Досліджували властивості системи автоматичного керування з нечітким П-регулятором для різних значень завдання на вході системи методом імітаційного моделювання у пакеті *Matlab:Simulink*. У вікні моделі побудували структурну схему системи автоматичного керування, опрацьовану на основі рис.1. Задавали параметри об'єкта регулювання другого порядку ($K_0 = 0.5, T_1 = 3, T_2 = 3$ с.) і подали на вхід системи ступеневе завдання $V_0 = 10$. Добирали коефіцієнт передачі регулятора $K_p = 50$, і коефіцієнт денормалізації $N = 5.5$, щоб забезпечити 20 % перерегулювання перехідного процесу. Результати імітаційного моделювання у вигляді перехідних характеристик для різного завдання ($V_0 = 10, 20, 30$) подані на рис. 5.

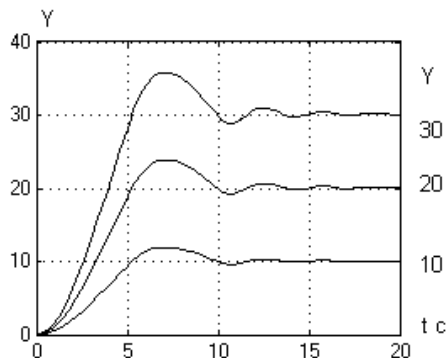


Рис.5. Перехідні характеристики системи для різних значень завдання на вході

Перехідні процеси у системі з нечітким П-регулятором є легкоколивними із 20 % перерегулюванням, час регулювання становить 10 с. і не залежить від завдання. Статична похибка становить – 0,29 % і на порядок вища ніж у системі із традиційним П-регулятором. Отже, запропонована схема блока денормалізації управління забезпечує роботу нечіткої системи керування для різних значень вхідного завдання.

Зазвичай традиційний П-регулятор є лінійним [1, 4] і формує управління пропорційне похибці (1). Натомість для формування управління у нечітких регуляторах застосовуються нечіткі перетворення, зокрема, розмивання сигналу похибки і висновкування. Отже, формування управління здійснюється різними методами. На рис.6 подані результати імітаційного моделювання регулюючої дії на об'єкт для різного ступеневого завдання на вході.

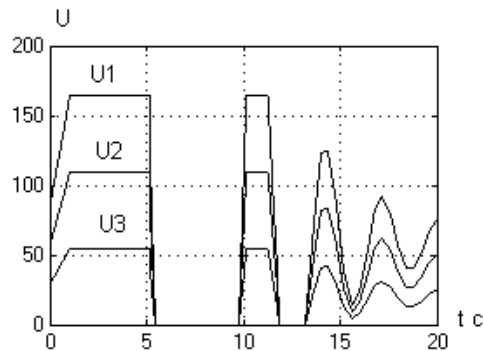


Рис. 6. Регулююча дія на об'єкт для різних значень завдання на вході

Нечіткий П-регулятор спочатку формує три близькі до прямокутних імпульси управління, висота яких залежить від завдання амплітудою $U_1 = 55, 110, 165$ ширина яких поступово зменшується, які переходять у коливні затухаючі і прямують до усталеного значення управляючої дії. Перші три імпульси переводять об'єкт в окіл режиму рівноваги. Отже, нечіткий регулятор при великих відхиленнях від режиму рівноваги має властивості подібні до нелінійного регулятора. Натомість в усталеному режимі працює як лінійний.

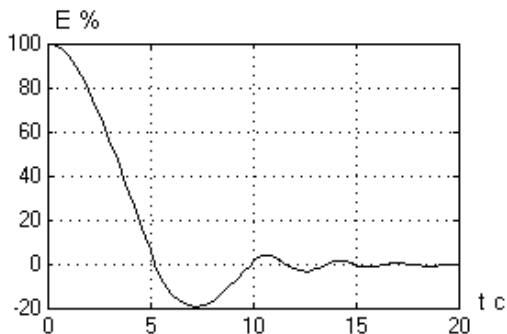


Рис. 7. Перехідні процеси при дії збурення

На рис.7 подані результати імітаційного моделювання роботи нечіткої системи при дії ступеневого збурення $Z_0=20$, яке подано на об'єкт в момент часу $t = 20$ с. Перехідний процес в системі при дії збурення є легкоколивним із невеликим перерегулюванням. Статична похибка при дії збурення залежить від величини завдання на вході системи і становить 0,756; 0,214; 0,067 %. Отже, простий нечіткий регулятор з запропонованою схемою блока денормалізації управління забезпечує відпрацювання дії збурень на об'єкт із високою точністю і невеликим перерегулюванням для різної величини завдання на вході системи автоматичного керування.

Висновки. Опрацьована схема блока денормалізації необхідна для практичних застосувань, забезпечує створення фізичної регулюючої дії на об'єкт при різних значеннях завдання у нечітких системах, які працюють із нормованими функціями і нормованими сигналами. Результати імітаційного моделювання системи з нечітким П-регулятором і опрацьованим блоком денормалізації управління довели, що він забезпечує роботу нечіткої системи для різних значень вхідного завдання і якість процесу регулювання. Простий нечіткий П-регулятор з запропонованою схемою блока денормалізації управління і завдання відпрацьовує ступеневу дію збурень на об'єкт з високою точністю і невеликим перерегулюванням для різних режимів роботи системи автоматичного керування, що зручно для практичних застосувань.

Список використаних джерел

1. Пістун Є. П. Основи автоматики та автоматизації: Навч. посібн./ Євген Пістун, Іван Стасюк. – Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2014. – 336 с.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6, 1\6.5. Simulink 4.5. Основы применения: Полное руководство пользователя. М.:Салон-Прес. 2002. – 242 с.
3. Луцків М. М. Математичне моделювання і комп'ютерне симулювання електромеханічних та стрічкових систем: монографія/ М. М. Луцків, І. М. Хмельницька. – Львів: Укр. акад. друкарства. 2010. – 172 с.
4. Jerze Brzozka. Regulatory i układy automatyki: Warszawa: Wydawnictwo MIKOMA. 2004. – 342 s.
5. Janusz Kwasniewski. Sterowniki PLCTW praktyce inzynierskiej. Wydawnictwo BTC. Legionowo. 2008. – 344 s.
6. Andrzej Piegat. Modelowanie i sterowanie rozmyte: - Warszawa: Wydawnictwo EXIT. 2003. – 678 s.

REFERENCES

1. Pistun Ye. P. (2014). Osnovy avtomatyky ta avtomatyzaciyi: Navch. posibn./ Yevgen Pistun, Ivan Stasyuk. – L`viv: Vydavnyctvo L`vivs`koyi politexnyky.– 336 s. (in Ukrainian)
2. D`jakonov V. P. (2002). MATLAB 6/6, 1\6.5. Simulink 4.5. Osnovy primenenija: Polnoe rukovodstvo polzovatelja. M.:Salon-Pres.– 242 s. (in Russian)
3. 3.Luczkiw M. M. (2010). Matematychnye modelyuvannya i kompyuterne symulyuvannya elektromexanichnykh ta strichkovykh system: monografiya/ M. M. Luczkiw, I. M. Xmel`nyczka. – L`viv: Ukr. akad. drukarstva.– 172 s. (in Ukrainian)

4. Jerze Brzozka. (2004). Regulatory i układy automatyki: Warszawa: Wydawnictwo MIKOMA.– 342 s. (in Polish)
5. Janusz Kwasniewski. (2008). Sterowniki PLCTW praktyce inzynierskiej. Wydawnictwo BTC. Legionowo.– 344 s. (in Polish)
6. Andrzej Piegat. (2003). Modelowanie i sterowanie rozmyte: - Warszawa: Wydawnictwo EXIT.– 678 s. (in Polish)

UDC 681.515

DENORMALIZATION OF MANAGEMENT IN SYSTEMS WITH FUZZY REGULATOR

M. M. Lutskiv

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
lutolen@i.ua*

The article presents the scheme of the denormalization block of the normalized problem and the management for the creation of the physical regulating effect on the object in the systems of automatic control with a fuzzy controller. An example of its application in a simple version of the fuzzy P-regulator for the second order inertial object has been considered. The results of simulation modeling for different values of input data have been presented.

Keywords: *fuzzy controller, object, denormalization, system, fusification, control action, quality, regulating accuracy.*

*Стаття надійшла до редакції 25.05.2017
Received 25.05.2017*