

Э.Е. ГЕРМАН, ассистент каф. АХТС и ЭКМ НТУ "ХПИ",
Л.В. ДЕРБУНОВИЧ, д-р. техн. наук, проф. каф. АУТС НТУ "ХПИ",
С.В. БЕЛЕЦКИЙ, к.т.н., доц., ХУГЗ (г. Харьков)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКИХ ПИД КОНТРОЛЛЕРОВ

В статті запропоновано новий спосіб розбивки нормованої області нечітких функцій для похибки сигналу та керуючого впливу в НПІДК. Обґрунтовані причини такої розбивки. Отримані аналітичні вирази для обчислення залежності $\tilde{u}_F(\tilde{e})$ в нечіткому блоці НПІДК.

In the paper the new way of partitioning of normalized space of fuzzy functions for an error of a signal and control action in FPIDC is proposed. The reasons of such partitioning are justified. The analytical expressions for calculus of relation in the fuzzy unit of FPIDC are obtained.

Введение. В последнее время методы нечеткого управления все чаще применяют в технологических процессах при управлении сложными нелинейными объектами, в условиях неопределенной информации, при наличии большого числа неявных внешних возмущающих воздействий [1]. Тем не менее, теоретическое обоснование замены классических методов управления нечетким управлением отсутствует. Разработка процедуры проектирования нечетких контроллеров состоит из многочисленных шагов "проб и ошибок" на этапе моделирования динамических процессов и согласования управляющих правил по лингвистическим протоколам экспертных оценок, которые зачастую противоречивы и невыполнимы.

В связи с этим активизируются исследования по созданию формальных методов синтеза нечетких контроллеров, которые не связаны с конкретными объектами [2-6]. В [2] предложен формальный метод выбора эффективных систем нечеткого логического вывода (НЛВ), основанный на сравнении 12 различных моделей НЛВ замкнутой системы первого порядка с запаздыванием. Данный метод выбора НЛВ не является универсальным, и применим только для ограниченного числа систем управления более высокого порядка. В [3] представлен аналитический метод выбора 4-х правил настройки НЛВ для нечеткого ПИД контроллера, который не зависит от характеристик объекта управления и позволяет получить требуемый НЛВ. В [4-6] исследуются ключевые вопросы выбора и оценки правил НЛВ и дефазификации для настроек нечетких контроллеров. В [7,8] рассматривается структура нечеткого ПИД контроллера и параметры нечеткой настройки, которые определяют границы функций принадлежности. В [9] описаны структурные особенности реализации

независимого нечеткого воздействия на отдельные элементы контроллера.

Существуют несколько методов проектирования нечетких ПИД контроллеров, которые разделяются на методы параметрического и функционального проектирования [10].

К сожалению, в настоящее время отсутствует обобщенная и теоретически обоснованная процедура синтеза НПІДК, приводятся многочисленные примеры частного применения нечеткого управления различными технологическими процессами и объектами. Сочетание двух методов проектирования позволяет создавать "гибридные" НПІДК, в которых функциональный подход используется для грубой настройки ПИД контроллера, а параметрический – для точной настройки коэффициентов прямого контура на линейных участках управления программ. Параметрический подход основан на выборе параметров нечеткого контроллера, число которых изменяется в зависимости от структуры НПІДК. С другой стороны уменьшение числа параметров позволяет упростить вычисление соответствующих коэффициентов, оптимизирующих процесс регулирования. Таким образом, систематизация исследований, проведенных в области нечеткого управления, разработка методов синтеза НПІДК и оптимизация их параметров является актуальной научно-технической задачей.

Целью статьи является дальнейшее усовершенствование методов параметрического проектирования НПІДК, направленное на сокращение числа настроечных параметров и уменьшение трудоемкости вычислений управляющих воздействий.

Основная часть.

В [7-9] рассматривался нечеткий контроллер НПІДК типа 1-1, который имеет структуру, представленную на рис.1:

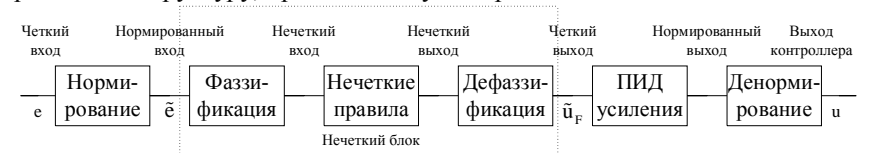


Рис.1. Структура нечеткого ПИД контроллера

Для нормированного сигнала ошибки \tilde{e} и дефазифицированного выходного сигнала нечеткого блока контроллера \tilde{u}_F база правил такого НПІДК имеет вид:

- Правило 1: Если ($\tilde{e} - NB$), то ($\tilde{u}_F - NB$);
 Правило 2: Если ($\tilde{e} - ZE$), то ($\tilde{u}_F - ZE$);
 Правило 3: Если ($\tilde{e} - PB$), то ($\tilde{u}_F - PB$);

где нечеткая переменная NB обозначает “большой отрицательный”, ZE – “около нуля”, PB – “большой положительный”.

Функции принадлежности такого контроллера для \tilde{e} и \tilde{u}_F показаны на рис. 2.

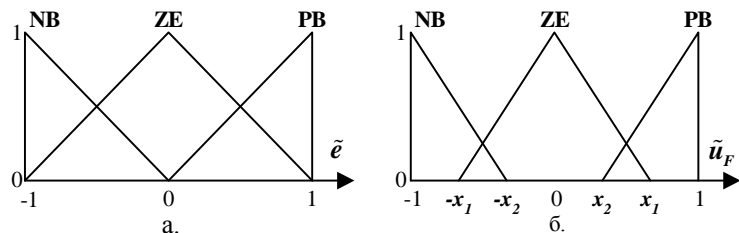


Рис. 2. – Функции принадлежности для: а – нормированного сигнала ошибки \tilde{e} ; б – выходного сигнала нечеткого блока контроллера \tilde{u}_F .

В представленной структуре НПИДК используется два параметра нечеткой настройки x_1 и x_2 .

Для уменьшения сложности вычислений управляющих воздействий НПИДК предлагается использовать минимальное количество нечетких переменных. Таким образом предлагается использовать только две нечеткие переменные: $\{N, P\}$, которые соответствуют множеству нечетких значений функций принадлежности – “отрицательный” и “положительный”, соответственно.

Следовательно, структура НПИДК, представленного в [7,8] будет иметь функции принадлежности для \tilde{e} и \tilde{u}_F , как показано на рис.3.

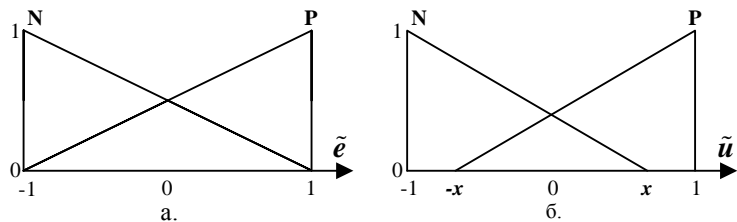


Рис. 2. – Функции принадлежности для а – нормированного сигнала ошибки \tilde{e} ; б – выходного сигнала нечеткого блока контроллера \tilde{u}_F .

Соответственно, база правил нечеткого ПИД контроллера примет вид:

Правило 1: Если ($\tilde{e} - N$), то ($\tilde{u}_F - N$); (5)

Правило 2: Если ($\tilde{e} - P$), то ($\tilde{u}_F - P$);

Уменьшение числа функций принадлежности для нечетких контроллеров, представленных в [7,8], позволяет сократить число параметров нечеткой настройки. В новой структуре НПИДК и введенной базе правил (5) имеется только один параметр нечеткой настройки x , что позволяет сократить погрешность и трудоемкость при вычислении параметров НПИДК.

Отметим, что для структуры НПИДК типа (1-3) в [9] число параметров нечеткой настройки в контроллере равно 6. Ранее и требовалось 6: по 2 для каждого нечеткого блока НПИДК.

Применяя аналитический подход к вычислению функции $\tilde{u}_F(\tilde{e})$ по аналогии с рассмотренным в [9], получены три различных соотношения для вычисления значений управляющих воздействий, которые зависят от параметра нечеткой настройки x .

В качестве нечеткой импликации предлагается использовать классическую нечеткую импликацию типа “max-min”, предложенную Заде [11]. Заштрихованные области на рис. 3 представляют собой аккумуляцию в системе нечеткого вывода для каждой входной нечеткой переменной: N и P . Дефазификация проводилась по методу центра тяжести (Centre of Gravity, CoG), и рассчитывается по формуле:

$$\tilde{u}_F = \frac{\int_{-1}^1 \tilde{u} \cdot \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}}{\int_{-1}^1 \mu(\tilde{u}) d\tilde{u}} \quad (7)$$

где \tilde{u} – выходная переменная, $\mu(\tilde{u})$ – функция принадлежности, соответствующая выходной переменной \tilde{u} .

а) $x \geq 0$ (рис. 3, а):

$$\tilde{u}_F = \frac{(2h-k)[3-(2-\tilde{e})+(1-k)(h^2-h+1)]}{3[2h(1-h)+1]} \quad (7, a)$$

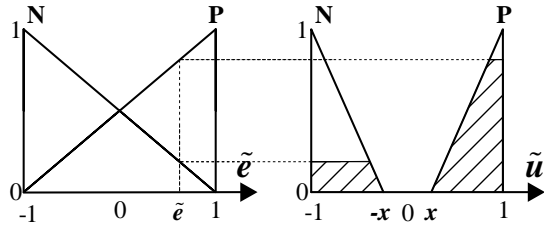


Рис. 3, а. $x \geq 0$

б) $x < 0, h' \geq 1-h$ (рис. 3, б)

$$\tilde{u}_F = \frac{(2h-k)[h(1-h)(1-x)^2 + 2x^2 - x + 2]}{3[3-2h+x-2hx]} \quad (7, б)$$

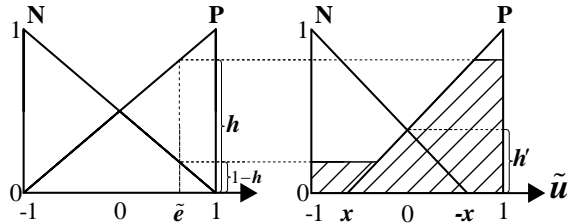


Рис. 3, б. $x < 0, h' \geq 1-h$

в) $x < 0, h' < \frac{1-\tilde{e}}{2}$ (рис. 3, в)

$$\tilde{u}_F = \frac{(x-1)[(1-x)^2 h(h-1)(4h-5) + (1-x)(2h-1)(2-x) - 6x(1-h)]}{3[4h(1-h)(1-x)^2 + 2h(1-x)^2(h-1) + 1-2x-x^2]} \quad (7, в)$$

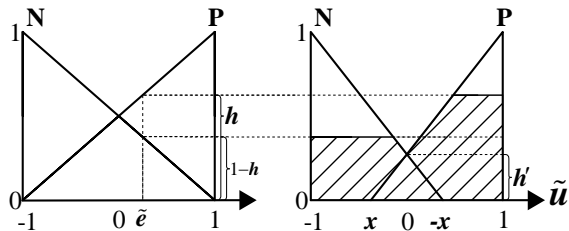


Рис. 3, в. $x < 0, h' < 1-h$

где $h' = \frac{x}{x-1}$ – точка пересечения верхних границ функций принадлежности для N и P , $h = \frac{1+\tilde{e}}{2}$ – нечеткое значение входного сигнала.

ности для N и P , $h = \frac{1+\tilde{e}}{2}$ – нечеткое значение входного сигнала.

Выводы. Предложена упрощенная структура нечеткого блока НПВДК, которая сводится к использованию минимального числа разбиений нормированного пространства для сигнала ошибки \tilde{e} и выходного сигнала нечеткого блока контроллера \tilde{u}_F . Таким образом, задача регулирования для нечеткого блока НПВДК сводится к нахождению только одного параметра нечеткой настройки x , что позволяет также упростить процедуру вычисления управляющего воздействия \tilde{u}_F по сравнению с описанными в [9].

Список литературы: 1. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с. 2. Mizumoto M. Fuzzy control under various fuzzy reasoning methods.// Inf. Sci. 1988. Vol. 45, pp. 129-151. 3. Ying H. The simplest fuzzy controllers using different inference methods are different nonlinear PI controllers with variable gains.// Automatica. 1993. Vol. 29, pp. 1579-1589. 4. H. Nakanishi, I.B., Sugeno M. and oth. A review and comparison of six reasoning methods.// Fuzzy Sets Systems. 1993. Vol. 57, pp. 257-294. 5. Chen C.-L., Wang S.N. and oth. Theoretical analysis of crisp-type fuzzy logic controllers using various t -norm sum-gravity inference methods.// IEEE Trans. Fuzzy Syst. 1998. Vol. 6, pp. 122-136, 1998. 6. Ying H. The Takagi-Sugeno fuzzy controllers using the simpler linear control rules and nonlinear variable gains.// Automatica. 1998. Vol. 34, pp. 157-167. 7. Гапон А.И., Герман Э.Е., Дербунович Л.В.// Система нечеткого управления процессом выращивания функциональных монокристаллов. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". № 36. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ"ХПІ"2006. -№31. – С. 11-18. 8. Герман Э.Е., Дербунович Л.В.// Нечеткий ПИД контроллер в системах управления установками для выращивания. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ"ХПІ"2007. -№6. – С. 19-23. 9. Гапон А.И., Герман Э.Е., Дербунович Л.В.// Методы проектирования нечетких ПИД контроллеров. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". № 36. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ"ХПІ"2005. -№17. – С. 15-21. 10. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Егунова Н.Д. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002. – 744 с. 11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

Поступила в редколлегию 22.11.07