

УДК 681.518

В.С. Михайленко, канд. техн. наук,

Р.Ю. Харченко

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ФАЗЗИФИКАЦИИ И ДЕФАЗЗИФИКАЦИИ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Выполнен анализ методов и операций при реализации моделей в нечетких контроллерах. Исследовано влияние типа функций принадлежности, операций нечеткого вывода и методов дефаззификации на качество переходного процесса, даны рекомендации по оптимизации процессов регулирования.

Ключевые слова: фаззификация и дефаззификация, система нечеткого управления, лингвистическая переменная, функция принадлежности, алгоритм Мамдани, робастная система автоматического регулирования.

V.S.Mikhailenko, PhD,

R.Y.Harchenko

INFLUENCE METHODS OF FUZZIFICATION AND DEFUZZIFICATION ON THE QUALITY OF TRANSIENT PROCESSES IN SYSTEMS OF FUZZY CONTROL

Abstract. The methods and operations in the implementation of models in fuzzy controllers have been analyzed. The influence of the membership functions and operations of fuzzy inference and defuzzification methods on the quality of the transition process has been examined; the recommendations on optimizing the regulatory process have been given.

Keywords: fuzzification and defuzzification, fuzzy control system, linguistic variable, membership function, the algorithm of Mamdani, robust automatic control system.

В.С.Михайленко, канд. техн. наук,

Р.Ю.Харченко

ВПЛИВ МЕТОДІВ ФАЗИФІКАЦІЇ І ДЕФАЗИФІКАЦІЇ НА ЯКІСТЬ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ

Анотація. Виконано аналіз методів і операцій при реалізації моделей у нечітких контролерах. Досліджено вплив типу функцій належностей, операцій нечіткого виводу і методів дефазифікації на якість перехідного процесу, надано рекомендації щодо оптимізації процесів регулювання.

Ключові слова: фазифікація і дефазифікація, система нечіткого управління, лінгвістична змінна, функція належності, алгоритм Мамдані, робастна система автоматичного регулювання.

Известно, что сложные объекты регулирования, осуществляющие технологические процессы, характеризуются нелинейностью, перекрестными связями, наличием запаздываний, параметрическими возмущениями и т.д. [1,2]. Все это затрудняет математическое описание таких систем и, как следствие, разработанные САР нуждаются в частой перенастройке. Поскольку в силу перечисленных причин ряд параметров объекта управления характеризуется неполной и нечеткой информацией, то для таких систем управления целесообразно использовать нечеткий подход [3].

Нечеткое управление основано на практическом применении знаний экспертов – наладчиков САР, представленных в виде лингвистических переменных (ЛП).

© Михайленко В.С., Харченко Р.Ю., 2011

Использование нечеткого подхода эффективно в случаях отсутствия детерминированной модели объекта или принадлежности к классу сложных (многомерные связанные системы регулирования и т.д.). Вместе с тем развитие данного научного направления дает толчок к появлению различных методов, иногда противоречивых, направленных на улучшение динамических свойств нечетких систем управления [4,5]. Проанализируем наиболее рекомендуемые методы и операции по реализации нечетких моделей в нечетких контроллерах (НК).

Алгоритм функционирования нечеткого контроллера [1] описывается следующей системой уравнений:

$$\{R_i\}_{i=1}^k = \begin{cases} R_1 : A_1 \circ r_1 = A_1 \circ (A_{11} \rightarrow A_{21}) = B_1 \\ R_2 : A_2 \circ r_2 = A_2 \circ (A_{12} \rightarrow A_{22}) = B_2 \\ \dots \\ R_k : A_k \circ r_k = A_k \circ (A_{1k} \rightarrow A_{2k}) = B_k, \end{cases} \quad (1)$$

$$B = \bigcup_{i=1}^k B_i, \quad z = dfzB, \quad (2)$$

где « \circ » – композиция нечетких отношений; « \rightarrow » – нечеткая импликация; $B_i (i = \overline{1, k})$ – локальный вывод из правила R_i ; B – общий вывод из базы правил $\{R_i\}_{i=1}^k$, $A_i = (i = \overline{1, k}) = fuzz(x_i)$, $A_{j_i} = fuzz(x_j, x_i)$; $fuzz$ – операция фаззификации; \bigcup – операция объединение; dfz – операция дефаззификации.

Как видно из (1), ключевыми элементами, влияющими на эффективность НК, являются процедуры фаззификации, дефаззификации и операции системы нечеткого вывода [2].

Для определения наиболее оптимальных процедур нечеткого алгоритма, реализованного для управления типовым объектом в области теплоэнергетики и их анализа, авторами рассматривается пароперегреватель парового котла средней мощности по каналу «перемещение регулирующего органа расхода охлаждающей воды на пароохладитель», «изменение температуры перегретого пара» [1], представленный в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием

$$W(s) = \frac{1}{(7s+1)(5s+1)} e^{-0.5s}. \quad (3)$$

и проводится серия компьютерных экспериментов в среде Matlab (FTL, Simulink) [4].

Исследования заключаются в анализе определения влияния типа функций принадлежности (ФП), операций нечеткого вывода

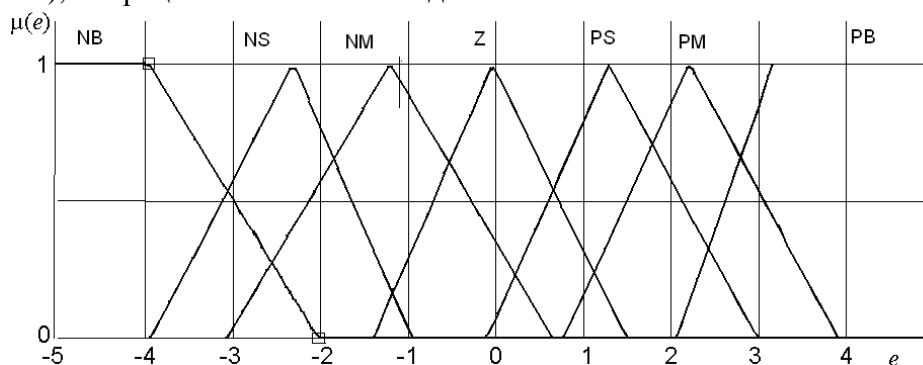


Рис.1. Функции принадлежности ЛП «ошибка»

и методов дефаззификации в НК на качество переходного процесса по каналу задания, при действии на объект каналов внешнего и параметрического возмущений. Вторым

этапом экспериментов является анализ робастных свойств оптимально настроенного НК. Воспользуемся алгоритмом Мамдани, встроенным в программу MatLab (FLT).

Ряд исследователей [3–5] при реализации НК рекомендуют разное количество ФП (от 2 до 10), разный диапазон универсумов входных и выходных параметров и разные методы дефаззификации. Можно отметить отсутствие единых рекомендаций по настройке НК с инерционными объектами второго порядка с запаздыванием.

Примем в качестве допущения семь функций принадлежности треугольного и трапецеидального вида [4] для ЛП «ошибка» E , «производная ошибки» E' , «управляющее воздействие» U .

Определены нечеткие множества и универсумы ошибки $e(t)$, скорости ее изменения $e^*(t)$ и управляющего воздействия $u(t)$, вышеуказанные нечеткие множества описаны с помощью следующих лингвистических переменных: NB – негативно большое, NS – негативно среднее, NM – негативно малое, Z – нулевое, PS – положительно среднее, PM – положительно малое, PB – положительно большое (рис.1-3).

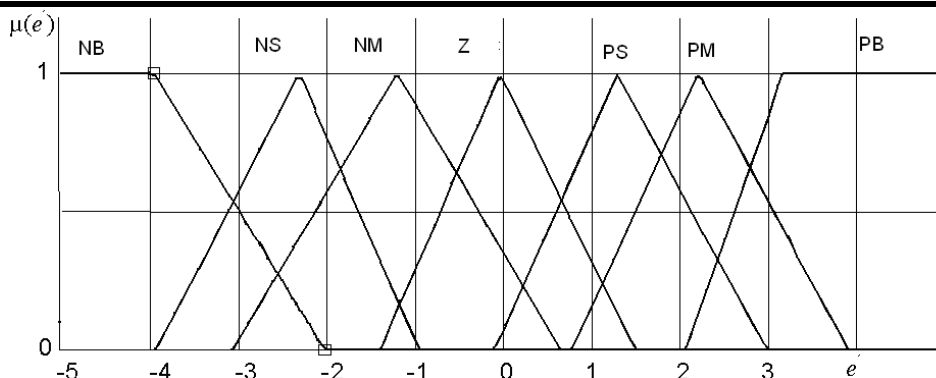


Рис.2. Функции принадлежности ЛП « производная ошибки»

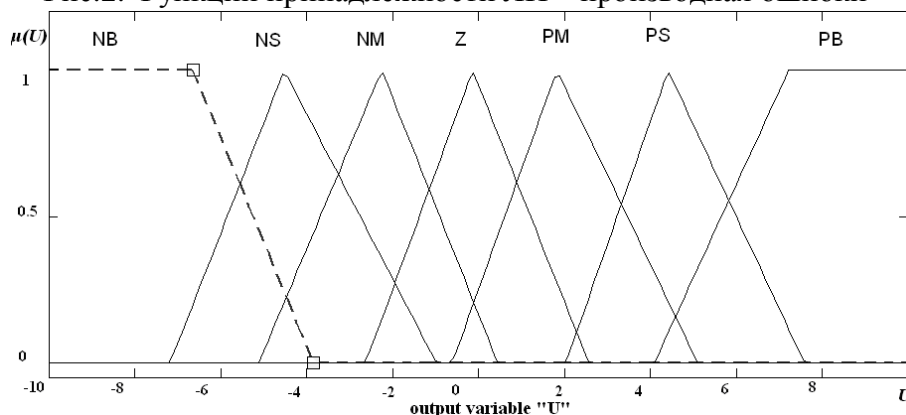


Рис.3. Функции принадлежности ЛП « управление»

База правил нечеткого регулятора представлена в табл.1.

1. База правил нечеткого регулятора для «управляющего воздействия» U

E	Производная ошибки, E'						
	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

В алгоритме Мамдани используются следующие операции

1. Методы логической конъюнкции:

1.1) метод минимального значения

$$T(E \wedge E') = \min((T(E), T(E'))). \quad (4)$$

1.2) метод алгебраического произведения:

$$T(E \wedge E') = T(E) \cdot T(E'), \quad (5)$$

где E, E' – нечеткие высказывания.

2. Метод вывода заключений (активизации):

2.1) метод \min – активизации

$$\mu'(U) = \min(\mu(E), \mu(U)) \quad (6)$$

2.2) метод prod - активизации

$$\mu'(U) = \mu(E) \cdot \mu(U) \quad (7)$$

3. Метод дефазификации:

3.1) метод центра тяжести

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)}. \quad (8)$$

3.2) метод центра площади

$$U = \frac{\int_{\min}^{\max} u \mu(u) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(u) dx}. \quad (9)$$

3.3) метод среднего максимума

$$U = (\max[u_m] + \min[u_m]) / 2. \quad (10)$$

3.4) метод левого модального значения

$$U = \min[u_m]. \quad (11)$$

3.5) метод правого модального значения

$$U = \max[u_m]. \quad (12)$$

Для моделирования НК (рис.4) воспользуемся формулами (4), (6), (8).

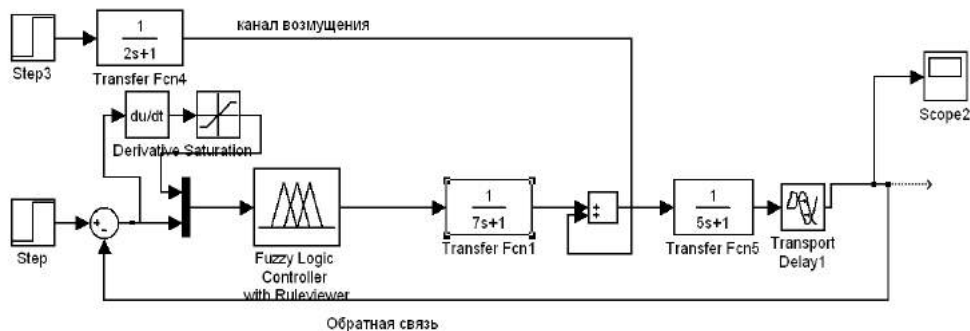


Рис.4. Нечеткая САР

Для проверки эффективности выбранного типа ФП проведем сравнение полученной переходной характеристики с переходным процессом при гауссовском типе ФП [4] (рис.5)

Анализ показателей качества апериодического процесса (времени регулирования T_r

и первого отклонения G_1) демонстрирует преимущество треугольного и Z – образного типа ФП ($T_p^1 = 22$ с, $G_1^1 = 1,2$; $T_p^2 = 27$ с, $G_1^2 = 1,25$).

Для анализа методов дефазификации используются формулы (9–12), результат представлен на рис. 6.

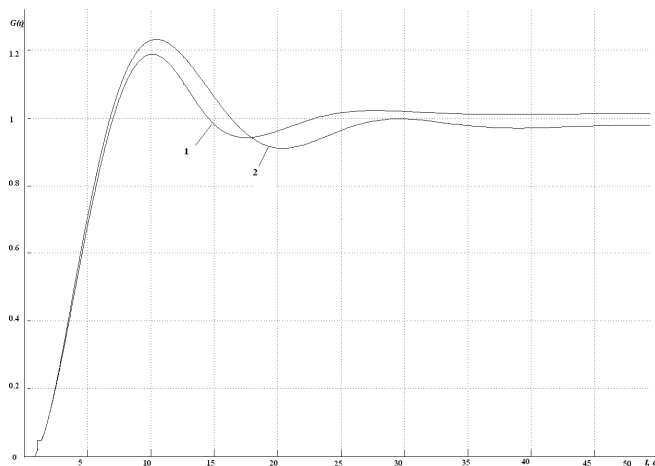


Рис.5. Переходные процессы нечеткой САР по каналу задания: 1 – с треугольными и Z – образными ФП, 2– с гауссовскими ФП

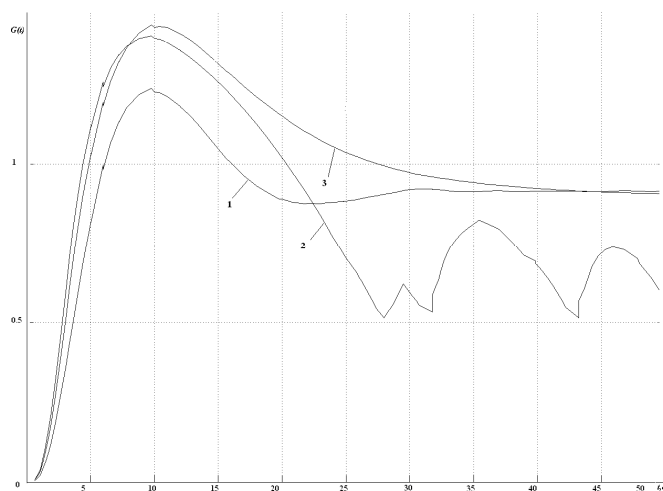


Рис.6. Переходные процессы при разных методах дефазификации: 1, 2 и 3 соответственно по формулам (9), (12) и (11)

Анализ рисунков 5 и 6 демонстрирует преимущество метода центра тяжести (8), так как переходный процесс (кривая 1 на рис. 5) отличается меньшим T_p и отсутствием остаточной ошибки.

Для анализа устойчивости нечеткой САР при вариации параметров объекта, т.е. ее робастности, проводятся эксперименты по изменению значений передаточной функции по каналам регулирования и возмущения (рис.7).

В первом эксперименте на робастность происходит увеличение $K_{об}$ и уменьшение $T_{об1,2}$, передаточная функция объекта имеет вид

$$W(s) = \frac{2}{(2s+1)(3s+1)} e^{-0.5s} \quad (13)$$

при неизменном канале внешнего возмущения.

При втором эксперименте увеличение значений K_N , T_N , $K_{об}$ и $T_{об1}$ функции по двум каналам имеют вид:

$$W^{N-U}(s) = \frac{1.5}{(12s+1)};$$

$$W^{z-u}(s) = \frac{1.5}{(17s+1)(5s+1)} e^{-0.5s}. \quad (14)$$

В третьем эксперименте на робастность при неизменном внешнем возмущении происходит увеличение $T_{об1,2}$, передаточная функция по каналу задания имеет вид:

$$W^{z-u}(s) = \frac{1.5}{(37s+1)(10s+1)} e^{-0.5s}. \quad (15)$$

Переходные процесс показаны на рис. 8.

Анализ вида переходных характеристик (рис.8) свидетельствует об устойчивости нечеткой САР или робастности в силу наличия универсума лингвистических переменных, что говорит о преимуществе НК по сравнению с типовыми ПИ и ПИД – регуляторами. Однако нечеткая робастная САР при строгих показателях качества переходного процесса может требовать адаптации своего алгоритма. Также эксперименты показали, что при $K_{об} > 3$ нечеткая система регулирования теряет устойчивость.

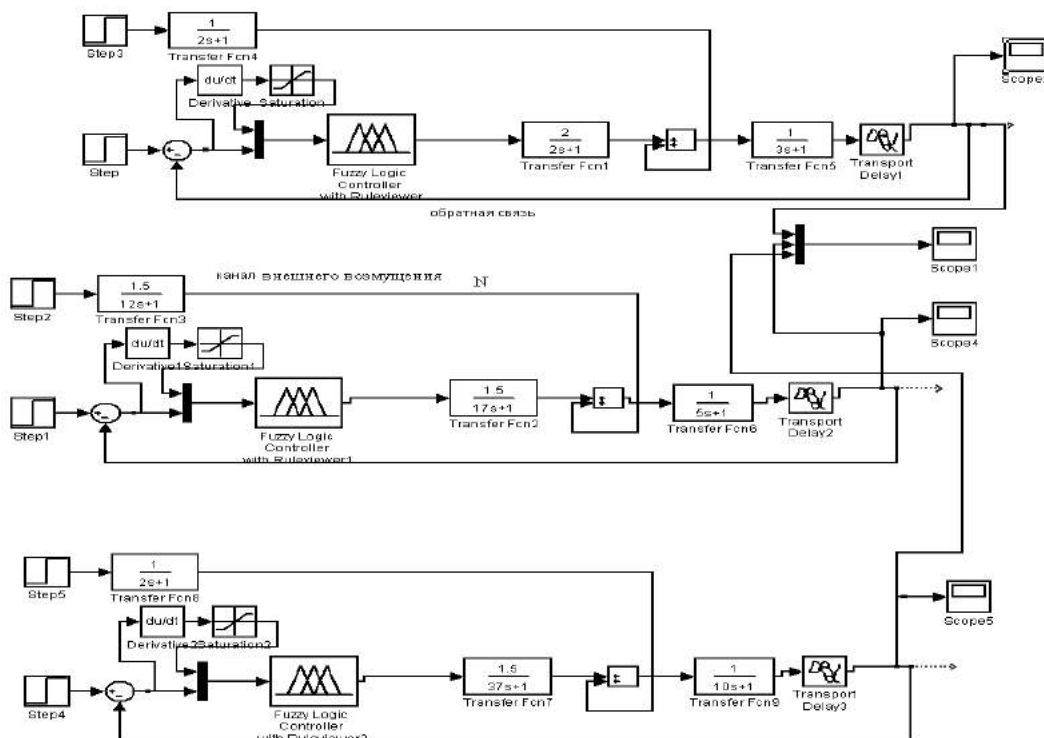


Рис. 7. Схемы нечетких САР при действии параметрических и внешних возмущений

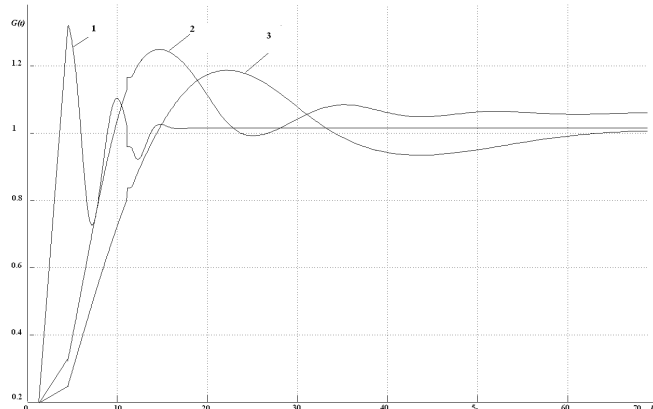


Рис. 8. Переходные процессы нечеткой САР: 1, 2 и 3 – при объектах вида соответственно (13), (14) и (15)

Заключение

1. При создании НК по управлению типовыми инерционными объектами с запаздыванием рекомендуется использовать треугольный и Z – образный тип функций принадлежности, метод центра тяжести при проведении этапа дефаззификации и минимальные методы конъюнкции и активизации.

2. Нечеткая САР проявляет робастность на определенном интервале изменений значений параметров объекта по разным каналам и не требует наличия специального наблюдателя, однако качество процесса регулирования ухудшается. Глубокие вариации $K_{об}$ требуют включения канала нечеткой адаптации.

3. Нечеткая САР может быть рекомендована для управления широким классом объектов, подверженных влиянию случайных возмущений, но только в случаях, когда значения параметров объекта не выходят за допустимый диапазон.

Список использованной литературы

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления / В.Я. Ротач– М.: МЭИ, 2008 – 396 с.

2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: / Д.Рутковская, М.Пилиньский, Л.Рутковский. Пер. с польск. / И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

3. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / А. Ю. Леоненков. – С.– Птб.: БХВ, 2003. – 720 с

4. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab /

С.Д.Штовба.– М.: Горячая линия, – 288 с.

5. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / В.И. Гостев – К.: Радиоматор, 2008 – 972 с.
Получено 10.11.2011

References

1. Rotach V.J .Theory of automatic control. – Moskou: Moskou Power Institute, 2008 – 396 p. [in Russian].

2. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Ruthkovsky L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems: Trans. Translated from Polish. ID Rudinsky. – Moscow: Hot line – Telecom, 2006. – 452 p. [in Russian].

3. Leonenkov A.Y. Fuzzy modeling in Matlab and fuzzyTech. – С-PTB.: BHV, 2003. –720 p. [in Russian].

4. Shtovba SD Design of fuzzy systems by means of MatLab.– Moscow hotline. – 288 p. [in Russian].

5. Gostev VI Fuzzy controllers in automatic control systems – Kyiv: Radiomator, 2008 – 972 p. [in Russian].



Харченко
Роман Юрьевич,
ст.преп. Одесск.нац.морск.
акад,
e-mail: romannn30@gmail.com



Михайленко
Владислав Сергеевич,
докторант Одесск. гос. акад.
холода,
vlad_mihailenko@mail.ru