

Н.В. Андриевская, О.А. Билоус, С.С. Семенов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА БАЗЕ ПИ-РЕГУЛЯТОРА В СРЕДЕ *MATLAB*

*Рассмотрена методика синтеза нечеткого регулятора.
Проведен сравнительный анализ качества управления классического и нечеткого ПИ-регулятора.*

На сегодняшний день основной проблемой нечеткого управления является отсутствие методологических подходов в проектировании регуляторов, использующих данную технологию. Большинство из них сейчас создается методом проб и ошибок, путем длительных испытаний и моделирования, а также привлечения экспертов. Такой подход не всегда является приемлемым из-за того, что он требует значительного количества времени и не всегда дает достаточно надежные результаты [1]. Кроме того, остается нерешенной проблема доверия к системе ввиду субъективности экспертных оценок.

Таким образом, задачей данной работы является создать методику, на основе которой было бы возможно синтезировать нечеткий регулятор на базе ПИ-регулятора, а также выполнить верификацию модели в среде *MatLab*. Объектом будет апериодическое звено первого порядка с передаточной функцией вида

$$W_o(p) = \frac{\beta_o}{T_o p + 1}. \quad (1)$$

За основу для нечеткого регулятора возьмем ПИ-регулятор с передаточной функцией следующего вида

$$W_{\text{пер}}(p) = \frac{K_{\text{и}}}{p} + K_{\text{п}}. \quad (2)$$

ПИ-регулятор может быть представлен передаточной функцией вида

$$W_{\text{пер}}(p) = \frac{Kp(T_{\text{и}}p + 1)}{T_{\text{и}}p}, \quad (3)$$

где $T_{\text{и}} = \frac{K_{\text{п}}}{K_{\text{и}}}$ – постоянная интегрирования ПИ-регулятора.

Нечеткий регулятор можно представить следующим образом [2]:

$$\text{выход} = K_{\text{и}} \cdot \text{скорость} + K_{\text{п}} \cdot \text{ошибка}, \quad (4)$$

где «выход», «скорость» и «ошибка» – это лингвистические переменные. Причем «ошибка» и «скорость» – входные переменные, обозначающие ошибку и ее производную соответственно, а «выход» – выходная переменная или управляющее воздействие. Каждой из лингвистических переменных соответствует ряд функций принадлежности, лежащих в диапазоне от $-L$ до $+L$ для входных переменных и $-H$ до $+H$ для выхода. А $K_{\text{и}}$ и $K_{\text{п}}$ могут быть связаны с параметрами нечеткого регулятора следующими соотношениями:

$$K_{\text{и}} = \frac{G_{\text{с}} G_{\text{в}} H}{2L}, \quad (5)$$

$$K_{\text{п}} = \frac{G_{\text{о}} G_{\text{в}} H}{2L}, \quad (6)$$

где $G_{\text{с}}$, $G_{\text{в}}$, $G_{\text{о}}$ – это масштабирующие коэффициенты лингвистических переменных «скорость», «выход», «ошибка» соответственно.

Методика синтеза регулятора заключается в следующем:

1. Произвести анализ объекта и спроектировать ПИ-регулятор, который бы удовлетворял предъявляемым показателям качества управления: заданному времени переходного процесса и перерегулированию.

2. Промоделировать работу системы с рассчитанным ПИ-регулятором. Определить максимальные значения ошибки e_{max} и скорости ее изменения r_{max} $\left(r = \frac{de}{dt} \right)$.

3. На основе коэффициентов ПИ-регулятора рассчитать основные параметры нечеткого регулятора:

– рассчитать коэффициенты $G_{\text{с}}$, $G_{\text{в}}$, $G_{\text{о}}$. Для удобства можно принять, что $G_{\text{о}} = 1$ [1], тогда из соотношений (5) и (6) $G_{\text{с}}$ определяется как

$$G_{\text{с}} = \frac{K_{\text{и}}}{K_{\text{п}}}; \quad (7)$$

– подставив (7) в (5) и приняв, что $L = H$ [1], получаем выражение для G_B :

$$G_B = 2K_{и}; \quad (8)$$

– теперь рассчитаем значения L и H так, чтобы значения e и r попадали в интервал $[-L; +L]$. Для этого воспользуемся следующим соотношением:

$$L = \max\{G_o e_{\max}; G_c r_{\max}\}, H = L; \quad (9)$$

– структурный параметр N , задающий число терм для входных переменных ($N + 1$ для выходных), определяется необходимой точностью регулятора. На данный момент отсутствуют методы точной оценки его величины, однако существуют рекомендации [1], гласящие, что его значение должно быть в диапазоне от 2 до 7;

– база правил регулятора задается экспертом.

Рассмотрим методику синтеза нечеткого регулятора для аperiodического звена (1) с параметрами $\beta_o = 0,5$, $T_o = 0,5$. Коэффициент обратной связи $K_{oc} = 1,2$. Необходимо рассчитать регулятор, обеспечивающий быстродействие $t_{\text{нп}} \leq 0,2$ с.

Передаточная функция замкнутой САУ имеет вид:

$$W(p) = \frac{W_p W_o}{1 + W_p W_o} = \frac{K_p \beta_o (T_{и} p + 1)}{T_{и} p (T_o p + 1) + K_p K_{oc} \beta_o (T_{и} p + 1)}. \quad (10)$$

При $T_{и} = T_o = 0,5$ регулятор компенсирует наибольшую возможную инерционность объекта. В этом случае замкнутая система будет иметь свойства инерционного звена с постоянной времени $T = T_{и} / K K_o \beta_o$, от которой будет зависеть время регулирования $t_{\text{нп}} = 3T$. С учетом $\beta_o = 0,5$ рассчитываем: $K = 3T_{и} / t_{\text{нп}} K_o \beta_o$. Таким образом, передаточная функция регулятора будет определяться как

$$W_p(p) = \frac{12,5(0,5p + 1)}{0,5p} = \frac{25}{p} + 12,5. \quad (11)$$

В результате моделирования СУ с ПИ-регулятором получены следующие значения максимальной ошибки регулирования и максимальной скорости изменения:

$$e_{\max} = 1,7 \%, r_{\max} = 12,5 \%. \quad (12)$$

Расчет параметров нечеткого регулятора осуществляется по формулам (7–9):

$$G_o = 1, G_c = \frac{K_{II}}{K_I} = 2, G_B = 2K_{II} = 50, \quad (13)$$

$$L = \max\{G_o e_{\max}; G_c r_{\max}\} = \max\{1,7; 25\} = 25. \quad (14)$$

Для простоты выберем наименьшее значение $N = 2$. В качестве функций принадлежности будем использовать Л-термы (рис. 1).

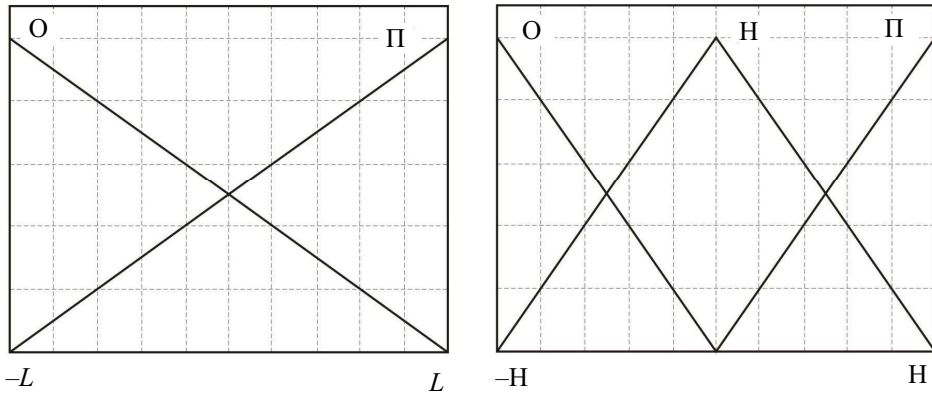


Рис. 1. Графики принадлежности Л-терм

Обозначим входные термы следующим образом: ошибка (производная ошибки) положительная (П), ошибка (производная ошибки) отрицательная (О). Выходные термы: воздействие положительное (П), воздействие близкое к нулю (Н), воздействие отрицательное (О).

База правил приведена на рис. 2

		Ошибка	
		П	О
Ско- рость измене- ния	П	П	Н
	О	Н	О

Рис. 2. База правил

После определения всех параметров нечеткого регулятора промоделируем его работу в среде *MatLab*, а также сравним его с обычным ПИ-регулятором. Для этого соберем следующую схему (рис. 3).

Функцию нечеткого регулятора выполняет объект *Fuzzy Logic Controller*, который на основе загруженных в него данных о модели

регулятора (для создания новой модели следует набрать в командной строке команду «fuzzy») рассчитывает управляющее воздействие.

Результаты моделирования показали, что спроектированный нечеткий регулятор не совсем удовлетворяет требованию по времени регулирования (рис. 4, $t_{III} \approx 0,26$ с).

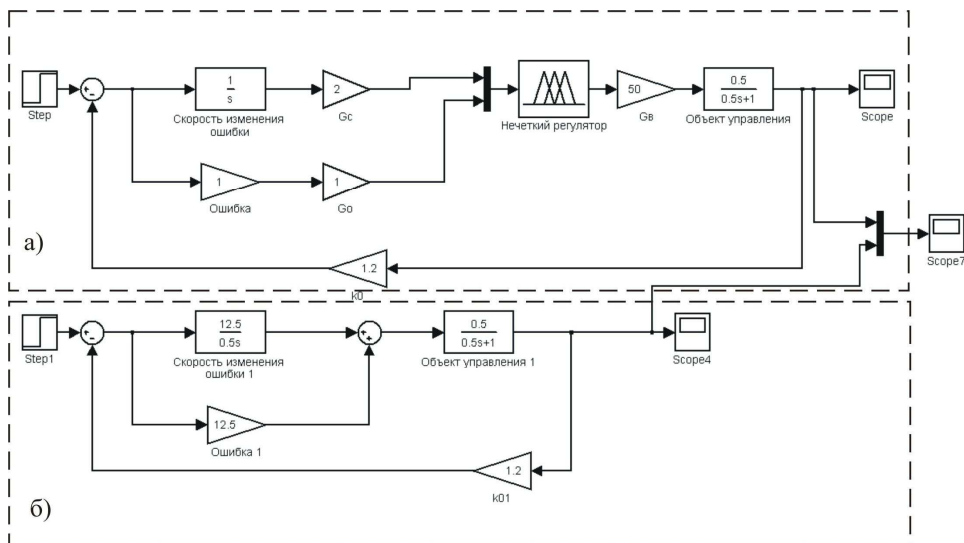


Рис. 3. Схема моделирования классического и нечеткого ПИ-регулятора

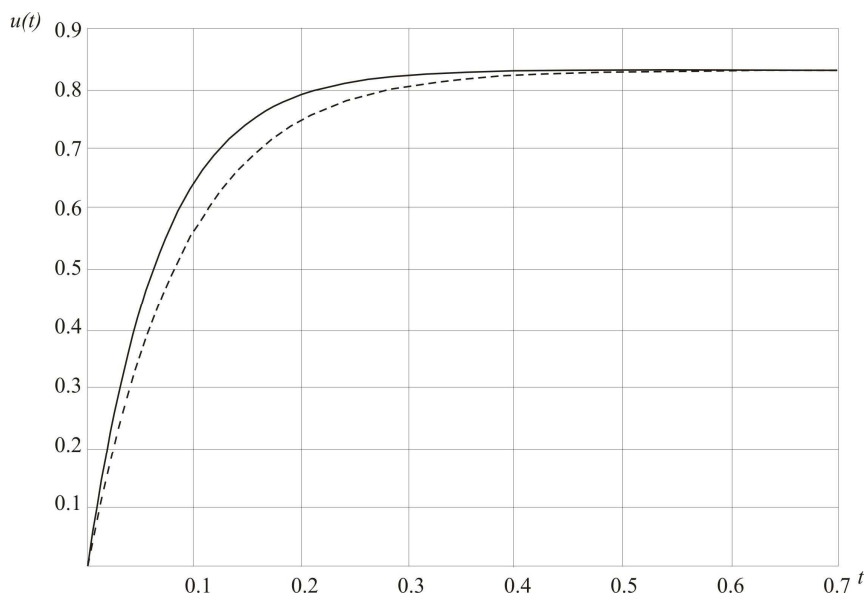


Рис. 4. Результаты моделирования САУ с нечетким ПИ-регулятором

Это объясняется его невысокой точностью. Однако данная проблема легко решается (рис. 5) с помощью небольшой подстройки коэффициента G_B примерно на одну четверть, до значения $G_B = 67$.

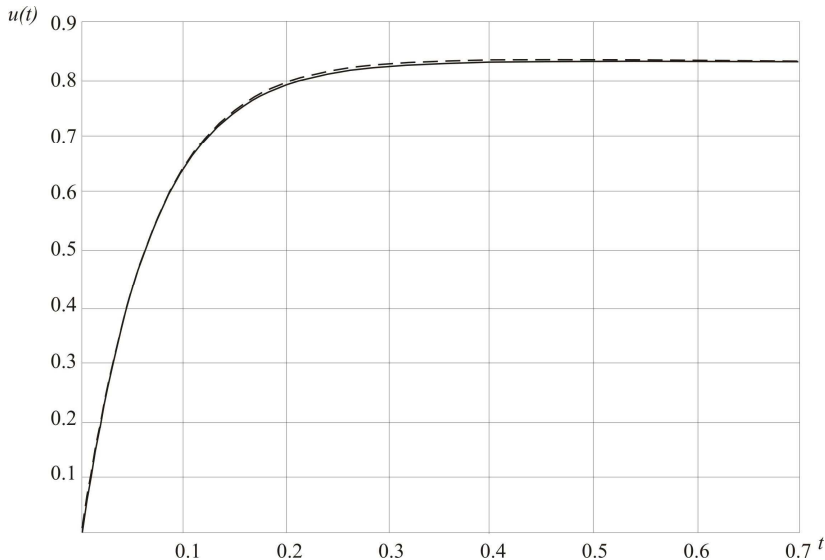


Рис. 5. Результаты моделирования САУ с скорректированным нечетким ПИ-регулятором

Таким образом, в данной работе были изложены основные теоретические и практические принципы расчета нечеткого регулятора на базе ПИ-регулятора. Данное исследование не только дает возможность облегчить и ускорить процесс проектирования системы управления, но также решает проблему доверия системе. В заключение хотелось бы отметить, что методы, изложенные выше, могут быть перенесены на регуляторы других типов (П, ПИД и др.), что свидетельствует о высоком потенциале данной работы для дальнейшей разработки и изучения.

Библиографический список

1. Ying H. Practical Design of Nonlinear Fuzzy Controllers with Stability Analysis for Regulating Processes with Unknown Mathematical Models // Automatica. – 1994. – P. 1185–1195.
2. Ying H. A Fuzzy Controller with Linear Control Rules Is the Sum of a Global Two-dimensional Multilevel Relay and a Local Nonlinear Proportional-integral Controller // Automatica. – 1993. – P. 499–505.

Получено 05.09.2012