

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ

Ни 3о

Свойства нечеткой логики обрабатывать неполную информацию, моделировать человеческие знания и выдавать обоснованные решения предполагают ее интенсивное использование для наблюдения в реальном времени за технологическими процессами, а также решением проблем, связанных с практической реализацией систем управления технологическими процессами [1]. Использование нечеткой логики в системах управления позволяет уменьшить вмешательство оператора в процесс управления и, следовательно, позволяет разработать новые методики управления, более адаптированные к промышленной среде регуляторы, построенные на базе нечеткой логики, в ряде случаев способны обеспечить более высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими регуляторами. Рассмотрим применение пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора. Структурная схема модели объекта с одним инерционным звеном 1-го порядка с классическим и нечетким ПИ-регулятором, выполненная в программном комплексе MatLab/Simulink, представлена на рисунке 1.

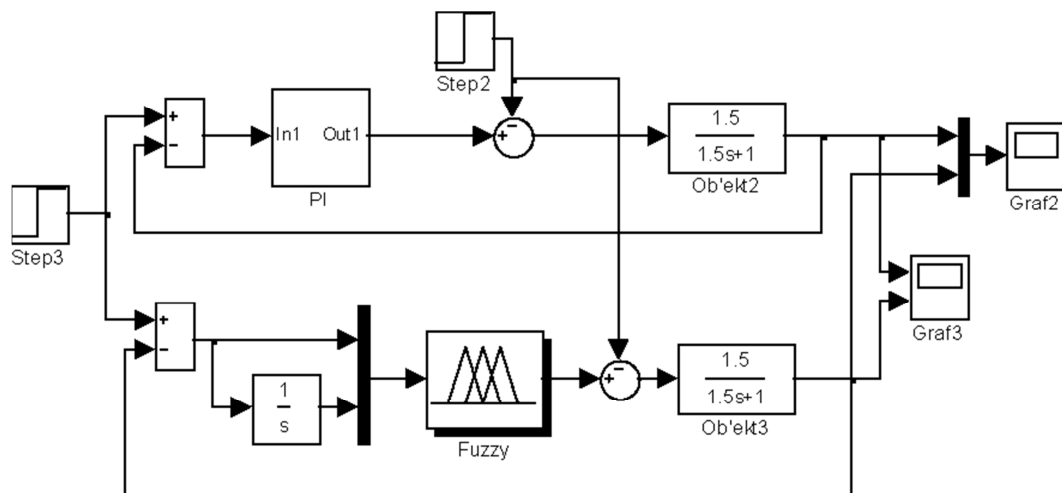


Рисунок 1 - Структурная схема модели объекта с одним инерционным звеном 1-го порядка с классическим и нечетким ПИ-регулятором

Нечеткая система выполнена по типу Мамдани [2] с двумя входами: для пропорциональной x_1 и интегральной x_2 составляющих. Для лингвистического описания каждой входной переменной выбраны семь треугольных термов (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB) и симметричные диапазоны изменения. Лингвистические правила для ПИ-подобного нечеткого регулятора приведены в табл. 1.

Таблица.1 - Лингвистические правила для ПИ-подобного нечеткого регулятора

	N	Z	P
N	NB	NM	ZE
Z	NM	ZE	PM
P	ZE	PM	PB

Правила формируются по типу **ЕСЛИ ... И ..., ТО...** Переходные процессы при ступенчатом изменении задания на входе и реакции на возмущающее воздействие на объект представлены на рисунке. 2

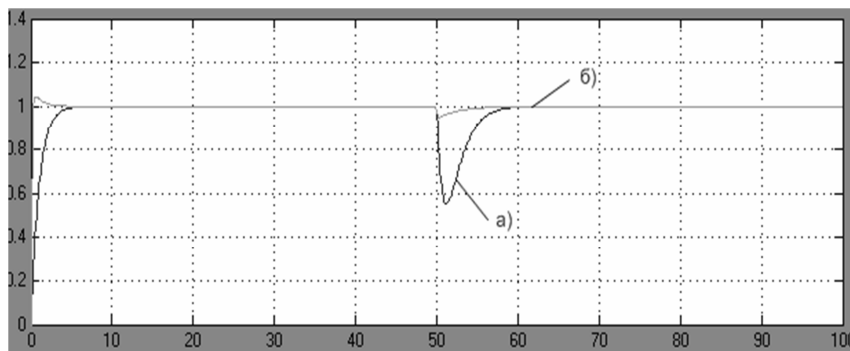


Рисунок 2 - Переходный процесс для системы с инерционным звеном 1-го порядка: а – с ПИ-регулятором; б – с ПИ-подобным нечетким регулятором

Исследуем применение пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора. Структурная схема модели объекта с одним инерционным звеном 1-го порядка с ПИД-подобным нечётким регулятором представлена на рисунке 3.

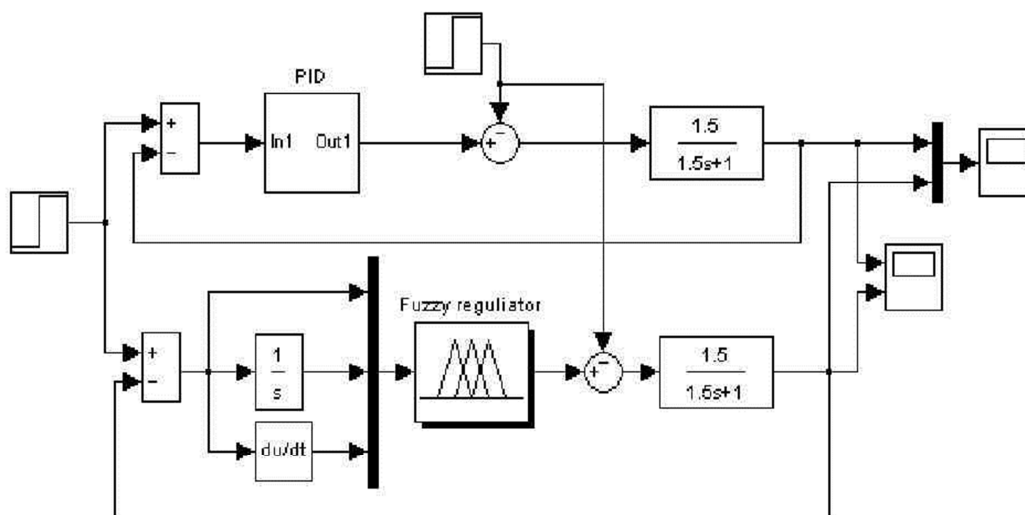


Рисунок 3 - Структурная схема модели объекта с одним инерционным звеном 1-го порядка с ПИД-подобным нечётким регулятором

Список логико-лингвистических правил дополнен следующими тремя правилами:

- 1) IF (x3=N) THEN (y=N);
- 2) IF (x3=ZE) THEN (y=ZE) ;
- 3) IF (x3=P) THEN (y=P).

Действительно, если скорость изменения ошибки положительна, то выходной сигнал регулятора должен увеличиться, чтобы предупредить увеличение сигнала рассогласования, и наоборот. Более точная настройка диапазона изменения Д-составляющей осуществляется методом подбора значений. Переходные процессы для модели с аналоговым ПИД-регулятором и ПИД-подобным fuzzy-регулятором представлены на рисунке 4.

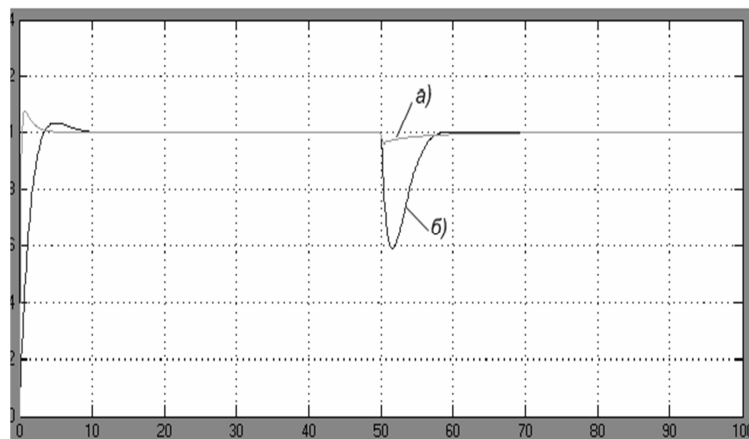


Рисунок 4 - Переходные процессы для модели с аналоговым ПИД-регулятором и ПИД-подобным fuzzy-регулятором

Наличие Д составляющей уменьшило динамическую ошибку системы, однако время регулирования в случае использования ПИД-подобного fuzzy-регулятора увеличилось. Предположим теперь, что объект регулирования содержит два инерционных звена первого порядка с одинаковыми постоянными времени. Исследуем применение ПИ-регулятора. Лингвистические правила в этом случае приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Лингвистические правила ПИ-регулятора

	N	Z	P
N	NB	PM	NB
Z	NM	ZE	PM
P	ZE	PM	PB

Переходные процессы для модели с аналоговым регулятором и модели с fuzzy-регулятором при ступенчатом изменении задания на входе и отработке единичного возмущающего воздействия на объект представлены на рис. 5.

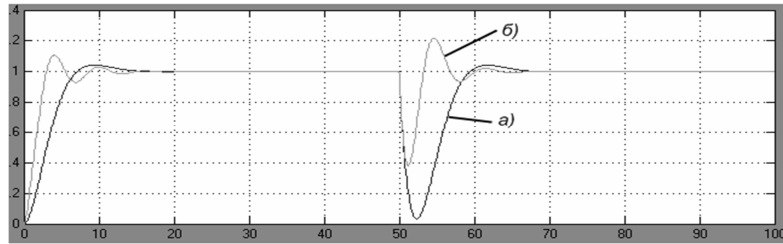


Рисунок 5 - Переходные процессы для модели с аналоговым регулятором и модели с fuzzy-регулятором при ступенчатом изменении задания на входе и отработке единичного возмущающего воздействия на объект

В случае применения ПИД-подобного нечёткого-регулятора для объекта с двумя инерционными звеньями 1-го порядка получим графики переходных процессов, представленные на рисунке 6.

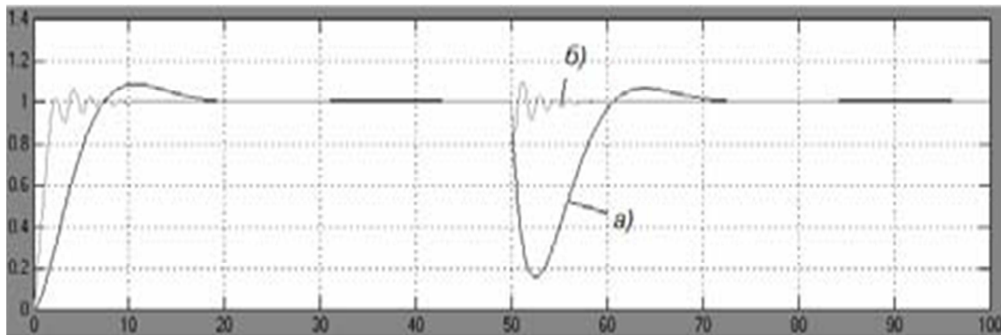


Рисунок 6 - Графики переходных процессов

Очевидно, время регулирования и число колебаний больше для системы с fuzzy-регулятором, однако динамическая ошибка значительно уменьшилась. Предположим, что объект регулирования содержит не только инерционное звено первого порядка, но и интегрирующее звено. Оптимизацию контура регулирования с объектом, содержащим интегрирующее звено, осуществим по симметричному оптимуму. Создадим нечеткую систему, реализующую типовой аналоговый ПИ-регулятор. Лингвистические правила для такого ПИ-подобного нечёткого-регулятора приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Лингвистические правила для такого ПИ-подобного нечёткого-регулятора

	N	Z	P
N	NB	PM	NB
Z	NM	ZE	PM
P	ZE	PM	PB

Переходные процессы для модели с аналоговым ПИ-регулятором и модели с ПИ-подобным нечётким-регулятором, представленной одним инерционным звеном 1-го порядка и интегрирующим звеном: а – с ПИ- представлены на рисунок 7.

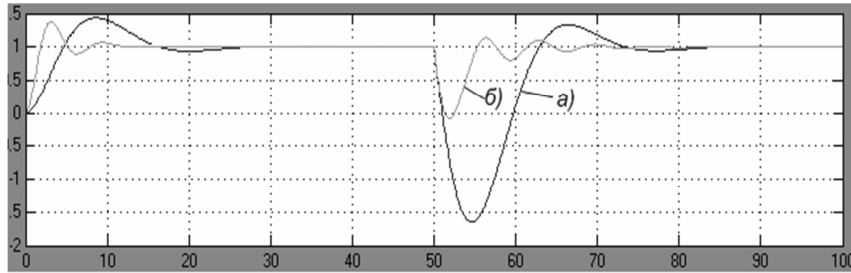


Рисунок 7 - Переходные процессы для модели с аналоговым ПИ-регулятором и модели с ПИ-подобным нечётким регулятором

Очевидно, колебательность несколько выше в системе с fuzzy-регулятором, однако динамическая ошибка значительно меньше. Переходный процесс для системы, представленной одним инерционным звеном 1-го порядка и интегрирующим звеном: а – с ПИД-регулятором; б – с ПИД-подобным нечётким регулятором представлены на рисунке 8.

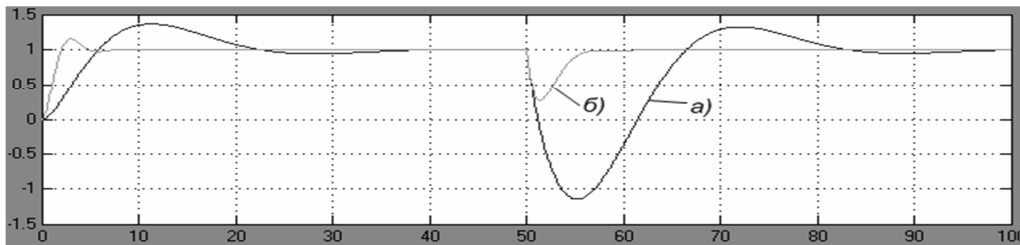


Рисунок 8 - Переходный процесс для системы, представленной одним инерционным звеном 1-го порядка и интегрирующим звеном: а – с ПИД-регулятором; б – с ПИД-подобным нечётким регулятором

По аналогичному алгоритму выполнен анализ использования нечетких регуляторов для объектов, описываемых комбинацией элементарных звеньев: интегральных и апериодических с большими и малыми постоянными времени[3]. В практике проектирования автоматических систем регулирования натяжения, построенных на базе петлеобразователей, традиционно используются скоростная и метрическая [4] модели зоны деформации. В основу их положено известное дифференциальное уравнение деформации материала в петлеобразователе:

$$L \frac{1 + \varepsilon_0 d\varepsilon_1}{1 + \varepsilon_1 dt} = V_{p2} - V_{p1} + V_{p2} \varepsilon_0 - V_{p1} \varepsilon_1 \pm K_r V_K$$

Где L - длина материала в зоне деформации; $\varepsilon_1, \varepsilon_0$ - относительное удлинение в зоне деформации и на ее входе соответственно; V_{p1}, V_{p2} - линейные скорости материала на входе и выходе зоны; V_K - линейная скорость перемещения измерительного ролика; K_r - коэффициент, учитывающий геометрию охвата измерительного ролика ветвями материала. В скоростной модели относительное удлинение вычисляется непосредственно по скоростям V_{p1}, V_{p2} , в метрической на

основе длин нерастянутого материала на входе и выходе зоны деформации. Возьмем за основу скоростную модель петлеобразователя (рисунок 9).

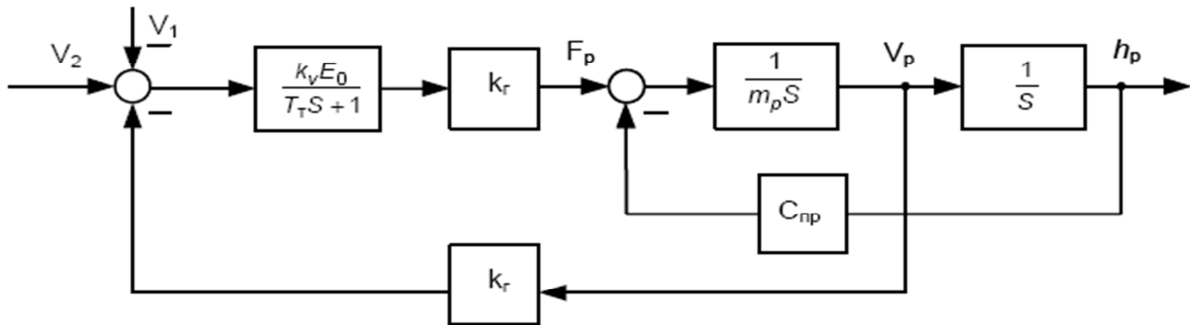


Рисунок 9 - Структурная схема петлеобразователя

Рассмотрим систему с fuzzy-регулятором положения и систему, использующую аналоговый ПИ-регулятор при работе на объект, содержащий два апериодических звена с существенно различными постоянными времени. Формирование базы правил fuzzy-регулятора ведется на основе уравнения для линейного непрерывного

ПИ-регулятора: $y(t) = K_{II} \cdot \varepsilon(t) \frac{1}{T_{II}} \int \varepsilon(t) dt$; которое можно заменить близким по логике

управления fuzzy-регулятором, если в качестве его выходной переменной рассматривать приращение управляющего воздействия Δy . Тогда закон регулирования ПИ-регулятора можно представить в дифференциальной форме:

$$\frac{dy(t)}{dt} = K_{II} \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \frac{1}{T_{II}} \cdot \varepsilon(t); \quad \text{или} \quad \Delta y(k) = y(k) - y(k-1) = K_{II} \Delta \varepsilon(k) + \frac{\Delta t}{T_{II}} \cdot \varepsilon(k).$$

Таким образом, для входных переменных $\varepsilon(k)$ и $\Delta \varepsilon(k)$ и выходной $\Delta y(k)$ может быть синтезирован fuzzy-регулятор, реализующий нелинейный закон: $\Delta y(k) = F[\Delta \varepsilon(k), \varepsilon(k)]$; эквивалентный в определенном смысле аналоговому ПИ-регулятору. Для нашего случая $x1_{pr} = \Delta h$ соответствует сигналу рассогласования $\varepsilon(k)$, $x2_{int} = \Delta h / \Delta t$ соответствует приращению сигнала рассогласования $\Delta \varepsilon(k)$, а y соответствует $\Delta h(k)$. Лингвистические правила для такого ПИ-подобного fuzzy-регулятора приведены в таблице 4.

Таким образом, применения нечетких регуляторов при управлении объектами с различными динамическими свойствами получены рекомендации по формированию базы нечетких правил в зависимости от конфигурации систем с ПИ- и ПИД-подобными регуляторами для обеспечения характеристик, не уступающих характеристикам классических регуляторов. Применение fuzzy-регулятора положения измерительного ролика датчика натяжения, и используются нечёткие регуляторы, которые подстраивают коэффициенты усиления регулятора прямого контура в зависимости от изменяющихся условий.

Таблица 4 - Лингвистические правила для такого ПИ-подобного fuzzy-регулятора

$\begin{matrix} \varepsilon \\ \Delta\varepsilon \end{matrix}$	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Список информационных источников

- [1] Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
- [2] Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1985. – Vol. 15. – No. 116. – P. 116–132.
- [3] Глазунов В.Ф., Тарарыкин С.В., Спичков Ю.П. О рациональном построении датчика натяжения ткани в поточных линиях текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1981. – № 1. – С. 78–82.
- [4] Глазунов В.Ф., Куленко М.С. Редуцирование математических моделей петлеобразователей в системе управления натяжением ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 6. – С.101–104.
- [5] Рамила С. Регулирование температуры в полупроводниковых печах. Semitherm, Kalispell, MT, 1993. С-78