

## Раздел IV. Методы искусственного интеллекта

УДК 004.89:002.53

**В.В. Игнатъев, И.С. Коберси**

### **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ, В КОТОРЫХ В КАЧЕСТВЕ ЭТАЛОННЫХ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ**

*Исследуется задача построения нечетких регуляторов, в которых в качестве эталонных используются системы управления с промышленными регуляторами. Синтезирована интегрированная цифровая система управления на основе классической и нечеткой моделей. Сформирована база правил нечеткого регулятора на основе результатов моделирования классической модели. Осуществлена процедура преобразования численных значений сигналов, полученных в результате моделирования классической модели в базу правил нечеткого регулятора. Проведено совместное моделирование и сравнительный анализ двух моделей.*

*Система автоматизированного управления; промышленный регулятор; нечеткий регулятор; база правил нечеткого регулятора.*

**V.V. Ignatyev, I.S. Kobersi**

### **APPLICATION OF FUZZY CONTROLLERS IN WHICH ARE USED AS A REFERENCE SYSTEM CONTROL WITH INDUSTRIAL CONTROLLER**

*In this work we researched the problem of constructing a fuzzy controller, which is used as a reference control system with industry regulators. Also synthesized integrated digital control system based on classical and fuzzy models, generated rule base fuzzy controller based on the simulation results of the classical model and simulated those models. Implemented the conversion process of numerical values of the signals obtained in the simulation of the classical model in the rule base of a fuzzy controller.*

*Automatic control system; industrial regulator; fuzzy regulator; fuzzy regulator rule base.*

Важнейшей задачей при разработке информационных систем управления в автоматических и автоматизированных производствах является повышение качества и оперативности управления. Как правило, данную задачу приходится решать только в рамках модернизации действующих производств.

В работе реализовано нечеткое управление отдельными исполнительными механизмами автоматизированной системы управления розжигом горелок при работе котла на природном газе [1].

Проблема заключалась в том, что на реально-действующем объекте в канале химической очистки концентрация выходного потока постоянно изменялась, что приводило к срабатыванию блокировок. Для устранения данного недостатка вместо классических регуляторов были применены нечеткие регуляторы, интегрированные с классическими ПИ- и ПИД-регуляторами.

Если не все частицы жидкости имеют одинаковое время пребывания в смеси-теле вследствие неоднородности поступления в него, то смешение приводит к тому, что вытекающий поток характеризуется меньшей вариацией состава, чем входящий. Схема объекта управления и канала регулирования представлена на рис. 1.

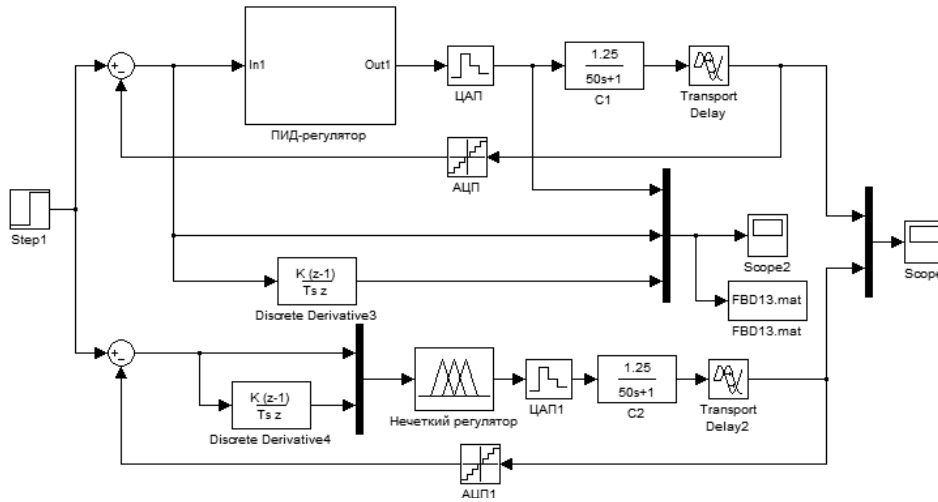


Рис. 1. Объект управления и канал регулирования

Для реализации нечёткого управления с применением ПИД-FUZZY-регулятора определим число входных параметров системы нечеткого вывода, вид функций принадлежности и количество выходных параметров. Выберем в качестве входных параметров системы нечеткого вывода две лингвистические переменные: сигнал отклонения системы и дифференциал отклонения. В качестве выходной переменной выбирается сигнал управления (см. FBD 13 на рис. 1). При задании функции принадлежности выбирается треугольная форма.

В качестве схемы нечеткого вывода будем использовать алгоритм Мамдани, поэтому методом активации будет *min*. В качестве метода агрегирования будем использовать операцию *min*-конъюнкции. Для аккумуляции заключений правил будем использовать метод *max*-дизъюнкции, который также применяется в случае схемы нечеткого вывода методом Мамдани. В качестве метода дефаззификации будем использовать метод центра тяжести. Структурная схема синтезированной нечеткой системы представлена на рис. 2.

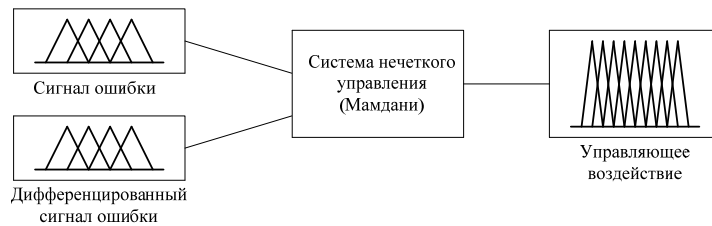


Рис. 2. Структурная схема синтезированной нечеткой системы

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной  $\theta$  будем использовать терм-множество  $T_1 = \{\text{«отрицательная близкая к нулю»}, \text{«близкая к нулю»}, \text{«положительная близкая к нулю»}, \text{«положительная малая»}, \text{«положительная средняя»}\}$ .

В качестве терм-множества второй лингвистической переменной  $\dot{\theta}$  будем использовать терм-множество  $T_2 = \{\text{«близкая к нулю»}, \text{«положительная близкая к нулю»}, \text{«положительная малая»}, \text{«положительная средняя»}, \text{«положительная большая»}\}$ .

В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной  $U$  будем использовать терм-множество  $T_3 = \{\text{«отрицательная близкая к нулю»}, \text{«близкая к нулю»}, \text{«положительная близкая к нулю»}, \text{«положительная малая»}, \text{«положительная больше малой»}, \text{«положительная средняя»}, \text{«положительная больше средней»}, \text{«положительная большая»}\}$ .

Таким образом, в терм-множество  $T_1 = \{t^1_1, t^1_2, t^1_3, t^1_4, t^1_5\}$  первой лингвистической переменной входит пять нечетких переменных, определяющих лингвистическую переменную «Сигнал отклонения». В терм-множество  $T_2 = \{t^2_1, t^2_2, t^2_3, t^2_4, t^2_5\}$  второй лингвистической переменной входит пять нечетких переменных, определяющих лингвистическую переменную «Дифференциал отклонения». В терм-множество  $T_3 = \{t^3_1, t^3_2, t^3_3, t^3_4, t^3_5, t^3_6, t^3_7, t^3_8\}$  выходной лингвистической переменной входит восемь нечетких переменных, определяющих лингвистическую переменную «Управляющее воздействие».

После запуска модели (см. рис. 1) численные значения сигналов отклонения, дифференциал отклонения и управляющего воздействия автоматически записываются в специально-созданный файл и могут быть представлены в виде следующей таблицы.

Таблица 1

<b>T,c</b>	0	1,500	3,000	4,5000	6,0000	7,5000	9,0000	10,500
<b>U(t)</b>	<b>17,733</b>	8,550	9,500	10,450	3,4078	0,8351	-0,5422	-3,7086
<b>E(t)</b>	<b>1,0000</b>	1,0000	1,000	1,0000	0,5611	0,1462	-0,1679	-0,5079
<b>dE/dt</b>	<b>0,6667</b>	0	0	0	<b>-0,2926</b>	-0,2766	-0,2094	-0,2266
<b>T,c</b>	12,000	13,500	15,000	16,500	18,000	19,50	21,00	22,500
<b>U(t)</b>	<b>-3,7905</b>	-2,9689	-2,5265	-0,9959	0,386	1,123	1,795	1,9933
<b>E(t)</b>	-0,6751	<b>-0,6878</b>	-0,6347	-0,4879	-0,3049	-0,1467	-0,0140	0,0714
<b>dE/dt</b>	-0,1115	-0,0085	0,0354	0,0978	0,122	0,105	0,0884	0,0569
<b>T,c</b>	24,000	25,500	27,000	28,500	30,000	31,500	33,00	34,500
<b>U(t)</b>	1,7425	1,4260	1,0055	0,5912	0,3515	0,2423	0,260	0,4018
<b>E(t)</b>	0,1014	0,0955	0,0641	0,0205	-0,0180	-0,0445	-0,055	-0,0515
<b>dE/dt</b>	0,0200	-0,0040	-0,0209	-0,0290	-0,0257	-0,0176	-0,007	0,0029
<b>T,c</b>	36,000	37,500	39,000	40,500	42,000	43,500	45,000	46,500
<b>U(t)</b>	0,5856	0,7677	0,9216	1,0139	1,0424	1,0203	0,9608	0,885
<b>E(t)</b>	-0,0363	-0,0160	0,0046	0,0209	0,0305	0,0330	0,0294	0,0217
<b>dE/dt</b>	0,0101	0,0136	0,0137	0,0109	0,0064	0,0017	-0,0024	-0,0051
<b>T,c</b>	48,000	49,500	51,000	52,500	54,000	55,500	57,000	58,500
<b>U(t)</b>	0,8154	0,7613	0,7304	0,7237	0,7349	0,7579	0,7846	0,8078
<b>E(t)</b>	0,0125	0,0037	-0,0031	-0,007	-0,0083	-0,007	-0,0049	-0,0020
<b>dE/dt</b>	-0,0062	-0,0059	-0,0045	-0,0027	-0,0008	0,0007	0,0016	0,0019
<b>T,c</b>	60,000	61,500	63,000	64,500	66,000	67,500	69,00	70,500
<b>U(t)</b>	0,8243	0,8318	0,8305	0,8231	0,8133	0,8023	0,7936	0,788
<b>E(t)</b>	0,0006	0,0024	0,0033	0,0031	0,0024	0,0012	0,0000	-0,0009
<b>dE/dt</b>	0,0017	0,0012	0,0005	-0,0001	-0,0005	-0,0008	-0,0008	-0,0006

Определим диапазоны изменения сигналов для построения функций принадлежности:

- ◆ сигнала отклонения:  $[-0,6878 - 1]$ ;
- ◆ дифференциала отклонения:  $[-0,2926 - 0,6667]$ ;
- ◆ управляющего воздействия:  $[-3,791 - 17,733]$ .

По разработанному алгоритму сравним табличные значения величин  $\theta$ ,  $\dot{\theta}$  и  $U$  с полученными параметрами термов. Каждому табличному значению каждой выбранной из  $\theta$ ,  $\dot{\theta}$ ,  $U$  величины ставится в соответствие значение функции принадлежности  $\mu(x)$  в диапазоне [0–1] по методу *max*.

После преобразования и объединения одинаковых правил получим табл. 2.

Таблица 2

<b>U(t)</b>	PB	PMS	PM	ZP	ZP	Z	ZN	ZN
<b>E(t)</b>	PM	PM	PM	PS	ZP	Z	ZN	ZN
<b>dE/dt</b>	PB	ZP	ZP	Z	Z	Z	Z	ZP
<b>U(t)</b>	Z	Z	ZP	ZP	ZP	Z	Z	
<b>E(t)</b>	ZN	Z	Z	ZP	ZP	ZP	Z	
<b>dE/dt</b>	PS	PS	PS	PS	ZP	ZP	ZP	

На основе табл. 2 зададим базу правил для системы нечеткого вывода. База правил представлена в виде табл. 3.

Таблица 3

1	IF	E(T) IS NOT PM	AND	dE/dT IS PB	THEN	U(T) IS PB
2	IF	E(T) IS PM	AND	dE/dT IS ZP	THEN	U(T) IS PMS
3	IF	E(T) IS PM	AND	dE/dT IS ZP	THEN	U(T) IS PM
4	IF	E(T) IS PS	AND	dE/dT IS Z	THEN	U(T) IS ZP
5	IF	E(T) IS ZP	AND	dE/dT IS Z	THEN	U(T) IS ZP
6	IF	E(T) IS Z	AND	dE/dT IS Z	THEN	U(T) IS Z
7	IF	E(T) IS ZN	AND	dE/dT IS Z	THEN	U(T) IS ZN
8	IF	E(T) IS ZN	AND	dE/dT IS ZP	THEN	U(T) IS ZN
9	IF	E(T) IS ZN	AND	dE/dT IS PS	THEN	U(T) IS Z
10	IF	E(T) IS Z	AND	dE/dT IS PS	THEN	U(T) IS Z
11	IF	E(T) IS Z	OR	dE/dT IS PS	THEN	U(T) IS ZP
12	IF	E(T) IS NOT ZP	AND	dE/dT IS NOT PS	THEN	U(T) IS ZP
13	IF	E(T) IS ZP	OR	dE/dT IS NOT ZP	THEN	U(T) IS ZP
14	IF	E(T) IS NOT ZP	OR	dE/dT IS ZP	THEN	U(T) IS Z
15	IF	E(T) IS NOT Z	AND	dE/dT IS NOT ZP	THEN	U(T) IS Z

После запуска модели (см. рис. 1) с сформированной базой правил нечеткого регулятора получим графики переходных процессов, представленные на рис. 3.

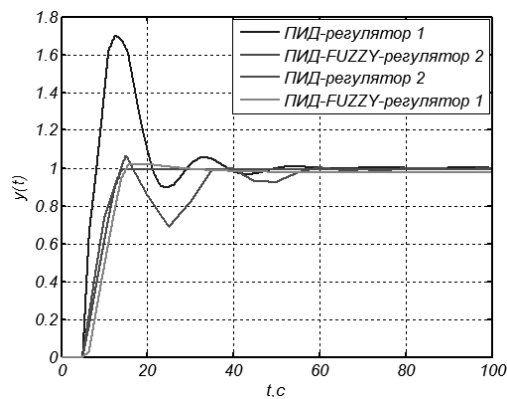


Рис. 3. Графики переходных процессов

На рис. 3 также изображены графики переходных процессов (ПИД-регулятор 2 и ПИД-FUZZY-регулятор 2) для той же системы, но с другими параметрами.

Таким образом, можно сделать вывод, что построение нечеткого регулятора, в которых в качестве эталонных используются системы управления с промышленными регуляторами способствует значительному улучшению основных показателей качества переходного процесса, таких как величина перерегулирования, время перерегулирования, число колебаний, время достижения первого максимума.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатъев В.В.* Автоматизированная система управления розжигом горелок при работе котла на природном газе // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 7 (84). – С. 128-136.
2. *Молчанов А.Ю., Финаев В.И.* Модели систем автоматической оптимизации с нечеткими параметрами. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 218 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский.

**Игнатъев Владимир Владимирович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: vova3286@mail.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Больничная, 28; тел.: 89286083925; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; ассистент.

**Коберси Искандар Сулейман** – e-mail: iskobersi@gmail.com; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 17; тел.: 89518382131; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

**Ignatyev Vladimir Vladimirovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vova3286@mail.ru; 28, Bolnichnaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +79286083925; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; assistant.

**Kobersi Iskandar Suleiman** – e-mail: iskobersi@gmail.com; 17, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +79518382131; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 62-551

**Д.А. Белоглазов, Е.Ю. Косенко**

#### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

*Рассмотрены проблемы синтеза систем управления плохо формализованными техническими объектами. Выполнен сравнительный анализ применимости в условиях неопределенности наиболее распространённых методов проектирования регуляторов: классического, робастного, нечеткого, нейронного. Приведены особенности разработки и практического использования нечетких регуляторов. Выполнен анализ качественных характеристик наиболее распространенных методов исследования устойчивости нечетких контроллеров: Ляпунова, гармонической линеаризации Попова. Приведены доводы в пользу необходимости проведения исследований систем управления, реализованных на основе аппарата нечеткой логики.*

*Искусственный интеллект; нечёткая логика; регулятор; управление; устойчивость.*

**D.A. Beloglazov, E.Yu. Kosenko**

#### **STUDY OF STABILITY OF FUZZY MANAGEMENT SYSTEMS**

*In this work the problem of synthesis of control systems poorly formalized technical objects. A comparative analysis of the applicability of the uncertainty in the most common methods of designing controllers: classic, robust, fuzzy, neural. Are given particular the development and*