

# AUTOMATIC CONTROLLERS IN MULTI-COMPLEX CONTROL SYSTEM

A. Ladanyuk , R. Boiko, Y.Smityuh  
National University of Food Technologies

---

**Key words:**

automatic controllers,  
fuzzy control,  
multi-agent systems

**Article history:**

Received 12.02.2015  
Received in revised form  
15.04.2015  
Accepted 20.04.2015

**Corresponding author:**

Ladanyuk@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article discusses approaches for evaluating the ability to create effective systems of automatic control based on multi-agent approach, using different types of automatic controllers.

In particular sufficient detail the analytical basis of their descriptions of the different types and features of the contained use, as shown in the sales structure. In this case, special attention should be the development of intelligent controllers based principles of fuzzy logic and fuzzy set theory. Illuminated urgent task today, namely the creation of structures of cognitive agents of technological systems. It is shown that for technological facilities that operate in an uncertain and changing load, can also be used tabular methods of PID adaptive properties.

Also determined that in multi-agent systems agents controllers are allocated to groups that implement these tasks: switching and stabilization, coordination and protection are their priority

---

# АВТОМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ В БАГАТОАГЕНТНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

А.П. Ладанюк д-р техн. наук,  
Р.О. Бойко, Я.В. Смітюх, канд. техн. наук  
Національний університет харчових технологій

*В статті розглядаються підходи за якими оцінюється можливість створення ефективних систем автоматичного регулювання на основі багатоагентного підходу з використанням різних типів автоматичних регуляторів. При цьому особливої уваги заслуговує розробка інтелектуальних регуляторів, що базуються принципах нечіткої логіки та теорії нечітких множин.*

**Ключові слова:** автоматичні регулятори, нечіткий регулятор, багатоагентні системи.

**Вступ.** Ефективність багатоагентних систем суттєво залежить від якості регулювання технологічних змінних. Найбільш широко використовуваний ПІД-регулятор (контролер) продовжує вдосконалюватись для покращення показників управління об'єктами, які мають складні динамічні характеристики [1].

В багатоагентних системах універсальний ПІД-регулятор може використовуватись як когнітивний агент. Для визначення параметрів цього регулятора за допомогою, наприклад, генетичного алгоритму знаходиться комбінації  $K_p$  (пропорційної),  $T_i$  (інтегральної),  $T_d$  (диференціальної) складових, яка забезпечує ефективне регулювання технологічних змінних в широкому діапазоні зміни характеристик об'єкта та суттєвих змінних збурень.

Агент з таким регулятором може працювати самостійно та проявляти когнітивні властивості (накопичувати знання зовнішнього середовища, які використовуються для пристосування до змінюваних умов роботи шляхом зміни параметрів регулятора). Такий регулятор може використовуватись також на нижніх шарах когнітивного агента з ієрархічною структурою.

**Мета досліджень.** Створення наукових основ побудови багатоагентних систем автоматизованого управління технологічними процесами харчової промисловості. При цьому необхідними є побудова структур системи, когнітивних агентів та спеціальних регуляторів.

**Результати досліджень.** Традиційний ПІД-регулятор включає три складові: пропорційну ( $P$ ), яка компенсує похибку регулювання; інтегральну ( $I$ ) для зменшення інтегральної похибки за час регулювання; диференціальну ( $D$ ) для формування сигналу за похідної похибки. Передаточна функція ПІД-регулятора має вид:

$$W(S) = K_p e + \frac{K_p}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p, \quad (1)$$

де:  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  — параметри регулятора, відповідно: коефіцієнт передачі, час інтегрування, час диференціювання;  $S$  — комплексна змінна. Для дискретно-часової області в цифровому виді передаточної функції (1) апроксимуються виразами за допомогою  $Z$ -перетворень,  $Z = e^{ST}$  (дискретного перетворення Лапласа):

$$\begin{aligned} W(S) = K_p &\rightarrow W(Z) = K_p, \\ W(S) = \frac{K_i}{S} &\rightarrow W(Z) = \frac{K_i T}{1 - Z^{-1}}, \\ W(S) = K_d \cdot S &\rightarrow W(Z) = \frac{K_d(1 - Z^{-1})}{T}. \end{aligned} \quad (2)$$

Загальна передаточна функція ПІД-регулятора в дискретній області має вид:

$$G_C(Z) = \frac{K_0 + K_1 Z^{-1} + K_2 Z^{-2}}{1 - Z^{-1}}, \quad (3)$$

де  $K_0 + K_1 T + K_d / T$ ;  $K_1 = -K_p - 2K_d / T$ ;  $K_2 = K_d / T$ ,  $T$  — час дискретизації.

В різницевому виді вихідний сигнал регулятора дорівнює:

$$U(n) - U(n - 1) = K_0 e(n) + K_1 e(n - 1) + K_2 e(n - 2), \quad (4)$$

де:  $e$  — сигнал похибки;  $n$  — дискретний час.

Таким чином, в дискретно-часовій області вихід регулятора в поточний момент часу обчислюється на основі значення виходу в попередній момент часу, похибки в поточний момент, похибки в попередньому ітераційному циклі за один крок до поточного моменту та за два кроки до поточного моменту. Традиційна схема замкненої системи автоматичного регулювання технологічним об'єктом показана на рис. 1.

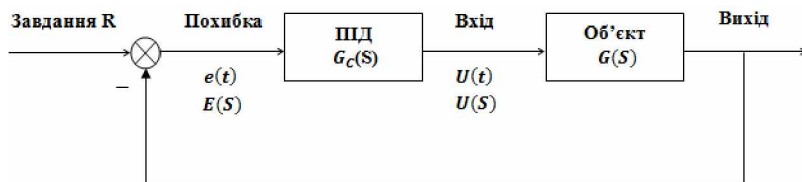


Рис. 1. Структура замкненої системи

Для складних динамічних об'єктів використовуються адаптивні та нечіткі регулятори. При реалізації нечітких регуляторів завжди розв'язуються три задачі:

- визначення способу фазифікації вхідних змінних, тобто формування шкал цих змінних з функціями належності вхідних значень до терм-множин змінних, визначення процедури обчислення степенів належності для поточних значень змінних;

- створення бази нечітких правил та визначення процедури висновку, тобто обчислення степенів належності для вихідних змінних;
- визначення способу дефазифікації вихідних змінних, тобто формування шкали вихідних змінних з функціями належності та визначення процедури обчислення степенів належності та поточних значень вихідних змінних.

Для створення бази нечітких правил, які відповідають пристрою управління, можна використати метод, описаний в [2], у якому процес висновку (виведення) виражається простою формулою для виходу системи:

$$U = (\alpha E + (1 - \alpha)EC), \tag{5}$$

де  $E, EC$  — нечіткі вхідні змінні для похибки управління  $e(t)$  та її зміни  $\Delta e(t)$ , відповідно;  $\alpha$  — фактор регулювання бази нечітких правил. Схема нечіткого ПІД-регулятора представлена на рис. 2.

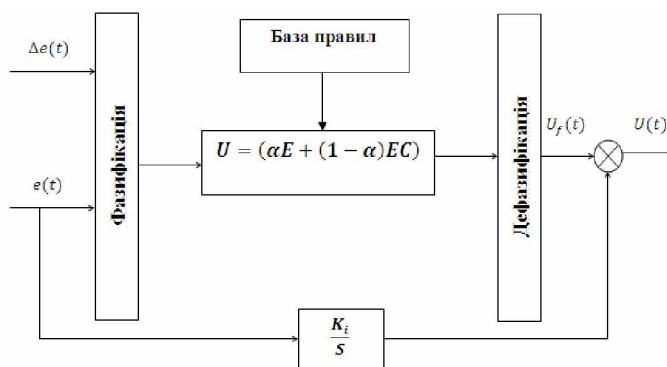


Рис. 2. Нечіткий ПІД-регулятор

Фазифікація при нечіткому управлінні подається так:

$$E = K_e e(t); EC = K_{EC} \Delta e(t), \tag{6}$$

А дефазифікація визначається як:

$$U_f(t) = K_f \cdot U \tag{7}$$

Додатковий інтегральний елемент вводиться для перевірки та забезпечення стійкості, тоді:

$$U(t) = U_f(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \tag{8}$$

Модель формування поведінки нечіткого агента, який керує об'єктом, обирається двох-рівневою: на верхньому рівні — мережа, наприклад, імунологічного типу, на нижньому — ПІД-регулятор, адаптивні властивості якого забезпечуються інтелектуальним генетичним алгоритмом.

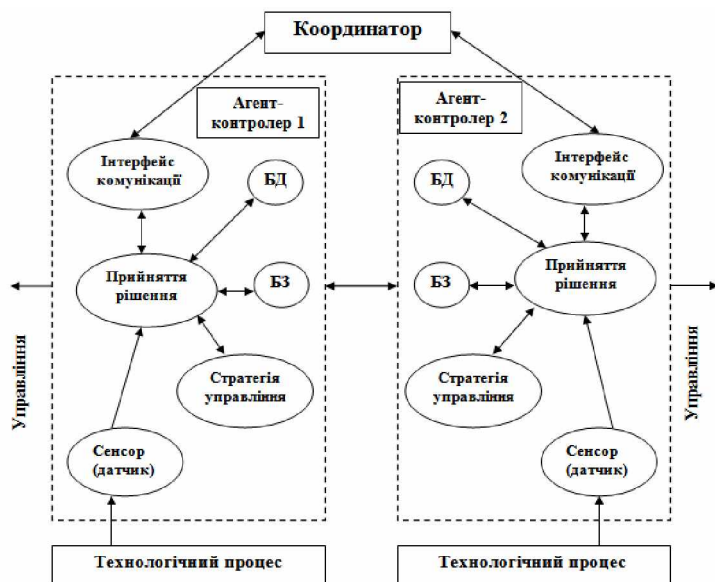


Рис. 3. Структура когнітивного агента технологічного комплексу

Процедура отримання параметрів регулятора формується групою трьох коефіцієнтів  $K_p, T_i, T_d$  та забезпечується необхідний перехідний процес. Для цього використовується генератор випадкових чисел, за допомогою якого формується  $N$  груп коефіцієнтів у формі матриці  $3 \times N$ .

$$K = \begin{vmatrix} K_{p1} & K_{i1} & K_{d1} \\ K_{p2} & K_{i2} & K_{d2} \\ K_{pN} & K_{iN} & K_{dN} \end{vmatrix} \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_N \end{matrix} \quad (9)$$

Кожний рядок матриці відповідає групі параметрів (варіанту рішення), а матриця в цілому — початковий набір груп параметрів.

Цільова функція має вигляд:

$$I = \int_0^{\infty} (a_1 |e(t)| + a_2 x^2(t)) dt + a_3 t_n, \quad (10)$$

де  $e(t)$  — похибка;  $x(t)$  — перехідний процес за регульованою змінною;  $t_n$  — час перехідного процесу;  $a_i, i = 1, 3$  — вагові коефіцієнти.

Для технологічних об'єктів, які функціонують в умовах невизначеності та при змінюваному навантаженні, можуть використовуватись також табличні методи надання ПД-регулятору адаптивних властивостей. Наприклад, для цього в систему включається еталонна модель з нечіткою логікою [5]. Тоді на основі експертних оцінок формується база правил у вигляді таблиці на основі продукційних правил, які формують поправочні коефіцієнти до параметрів регуляторів за визначеними функціями належності.

Другим варіантом табличного підходу є формування таблиці значень параметрів регулятора, якщо кожному режиму роботи об'єкта можна поставити у відповідність їх певну комбінацію. Для цього також необхідно визначити види та величини дестабілізуючих факторів, які можна вимірювати. Безумовно, необхідно провести попередню роботу для ідентифікації режимів роботи об'єкта, але це виправдано позитивним результатом за рахунок урахування додатково різних нелінійностей та нестационарності.

На верхньому рівні використовується мережа з адаптивними ПІД-регуляторами, які розраховуються за допомогою генетичного алгоритму, та регулюють стан об'єкта, який повинен відповідати поточній ситуації.

При роботі технологічних об'єктів виникають різні задачі, наприклад, *захисту* (коли необхідно терміново припинити подачу матеріальних або енергетичних потоків), *перемикання* (коли змінюється завдання від координатора), *автоматичного регулювання* (стабілізації технологічних змінних). В багатоагентних системах агенти-контролери виділяються в групи, які реалізують ці задачі: перемикання та стабілізація, координація та захист. Всі задачі, які реалізує система автоматизації, повинні мати певні пріоритети.

В технічній літературі описано кілька спроб побудови системи управління динамічними об'єктами на багатоагентній основі. Відзначається, що при цьому покращується взаємодія агентів та проявляється їх властивості автоматичності, адаптивності, гнучкості, що сприяє вдосконаленню процесів моніторингу та управління [3,4]. Кожний агент спеціалізований та відповідає за конкретні функції при розподіленому управлінні, а окремо розв'язується задача координації агентів.

**Висновки.** При використанні багатоагентних систем для управління технологічними комплексами та окремими підсистемами повинні виконуватись правила:

- забезпечення матеріальних та енергетичних балансів з урахуванням потоків речовини та енергії в статичних (квазістатичних) та динамічних режимах. Відомо, що саме цей фактор є визначальним у порівнянні зі змінними технологічних режимів окремих установок;

- незалежності (автономності) агентів. Це означає, що в штатних ситуаціях кожен агент виконує свої функції незалежно від інших і цей режим роботи є основним. При виникненні нештатної ситуації локальний агент звертається до інших, активізуючи обмін інформацією між ними;

- кооперації, тобто координації роботи інших агентів, коли активізується робота агента-координатора.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Aidan O'Dwyer Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules (2<sup>nd</sup> Edition) / Aidan O'Dwyer . — London, 2006. — P.564.

2. Long S. On self-regulation of fuzzy control rule/ S. Long, P. Wang/ Long, S. // Fuzzy Mathematics, 1982. Vol.3, no. 3, p.105—112.

3. Jia Lu Boiler-turbine Main Steam Based on Multi-Agent Control System/ Jia Lu, V.P. Shkodryev, L.A. Stankevich// Distributed Intelligent System and Technology Workshop. — St. Petersburg, 2008. — P.169—176.

4. Wooldridge M.J. An Introduction to Multi-Agent System/ John Wiley and Sons, Chichester, England, 2002.

5. Васильев В.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие/ В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов. — М. Радиотехника, 2009. — 392 с.

# АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ В МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

А.П. Ладанюк, Р.О. Бойко, Я.В. Смитюх

Национальный университет пищевых технологий

*В статье рассматриваются подходы по которым оценивается возможность создания эффективных систем автоматического регулирования на основе многоагентного подхода с использованием различных типов автоматических регуляторов. При этом особое внимание заслуживает разработка интеллектуальных регуляторов, основанных принципах нечеткой логики и теории нечетких множеств.*

**Ключевые слова:** автоматические регуляторы, нечеткий регулятор, многоагентные системы.