

УДК 681.51: 537.528
К 59

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОВИБУХОВИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ

С. С. Козирев, канд. техн. наук;¹
Л. Є. Овчиннікова, канд. техн. наук²

¹Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв
²Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

Анотація. Розроблено систему автоматичного керування електровибуховим перетворенням енергії на основі нечітких регуляторів. Проведено аналіз перехідних процесів, визначено параметри, які впливають на характер поведінки системи. Дано рекомендації щодо вибору параметрів системи керування, які забезпечують необхідну якість перехідних процесів.

Ключові слова: система автоматичного керування, електровибухове перетворення енергії, нечіткий регулятор, якість перехідного процесу, математичне моделювання.

Аннотация. Разработана система автоматического управления электровзрывным преобразованием энергии на основе нечетких регуляторов. Проведен анализ переходных процессов, определены параметры, влияющие на характер поведения системы. Даны рекомендации по выбору параметров системы управления, обеспечивающих необходимое качество переходных процессов.

Ключевые слова: система автоматического управления, электровзрывное преобразование энергии, нечеткий регулятор, качество переходного процесса, математическое моделирование.

Abstract. The automated control system, based on fuzzy-controller, was developed for the discharge energy conversion. The analysis of dynamics of developed system was done. The conditions of system's behavior change were defined. The recommendations of determination of parameters which provide required quality of transients were given.

Keywords: automated control system, discharge energy conversion, fuzzy-controller, transient quality, mathematical modeling.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Технічним засобом для реалізації електровибухового перетворення енергії за допомогою високовольтного розряду в рідині служать електрогідроімпульсні установки, які належать до багатовимірних дискретно-неперервних нормальних стохастичних систем з вихідними координатами у вигляді випадкових функцій, нестационарних за математичним сподіванням [7]. Відомі системи регулю-

вання, які побудовані на основі стохастичної регресійної лінеаризованої моделі електровибухового перетворення енергії [6], що адекватно описує процес тільки в околі точки номінального режиму, можуть стабілізувати режим розряду при незначних відхиленнях, але не забезпечують керуваність процесу в усьому просторі станів при зміні технологічних параметрів у широкому діапазоні та дії непередбачуваних зовнішніх впливів.

Синтезовані адаптивні системи керування електровибуховим перетворенням енергії на основі нечіткої моделі, яка побудована з використанням методів *fuzzy*-апроксимації та описує об'єкт у всьому просторі станів з урахуванням нелінійності, дають змогу розширити зону керованості, підвищити усталену точність, забезпечити адаптивність керування при різних режимах роботи [1, 2]. Для дослідження ефективності синтезованих адаптивних систем керування з використанням нечітких регуляторів необхідно проаналізувати якість перехідних процесів.

МЕТА РОБОТИ — дослідження методами математичного моделювання перехідних процесів адаптивних систем керування електровибуховим перетворенням енергії на основі нечітких регуляторів в умовах змін у широкому діапазоні технологічних пара-

метрів середовища та дії непередбачуваних збурюючих впливів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для забезпечення керованості в усьому просторі станів процесу електровибухового перетворення енергії, структурна схема якого представлена на рис. 1, синтезовано адаптивну систему керування на основі нечітких регуляторів, бази правил яких побудовані з використанням теорії нечітких множин та методів *fuzzy*-апроксимації [1, 2].

У синтезованій системі керування (рис. 2) використовуються нечіткі регулятори НР1, НР2 для коригування параметрів системи керування в залежності від положення об'єкта в просторі станів, що надає системі властивість адаптивності, дає змо-

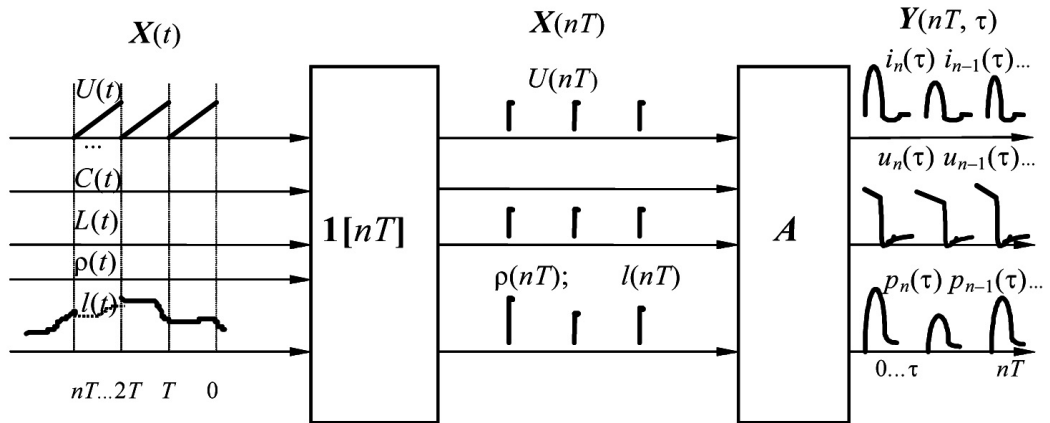


Рис. 1. Структурна схема електровибухового перетворення енергії як об'єкта керування

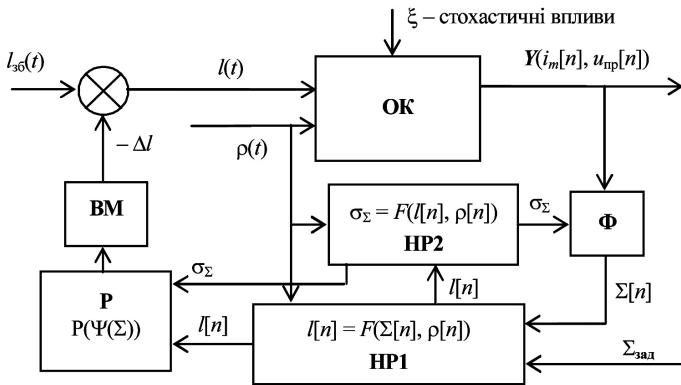


Рис. 2. Блок-схема системи керування з нечіткими регуляторами НР1, НР2

Таблиця 1. Математичне сподівання координати $\mathbf{M}(\Sigma[n])$

$l, \text{ м}$	$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{м}$				
	6,0	7,5	10,0	15,0	20,0
0,025	0,56	0,57	0,58	0,60	0,64
0,050	0,40	0,42	0,44	0,56	0,60
0,075	0,26	0,28	0,28	0,49	0,53
0,100	0,13	0,16	0,18	0,40	0,42

Таблиця 2. Середньоквадратичне відхилення σ_{Σ}

$l, \text{ м}$	$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{м}$				
	6,0	7,5	10,0	15,0	20,0
0,025	0,0277	0,0241	0,0229	0,0154	0,0097
0,050	0,0369	0,0361	0,0356	0,0143	0,0122
0,075	0,0425	0,0403	0,0387	0,0147	0,0127
0,100	0,0741	0,0695	0,0435	0,0166	0,0157

гу розширити зону керованості, підвищити усталену точність керування, забезпечити стійкість системи в усіх технологічних режимах роботи.

Вхідними змінними системи керування є координати вектора стану об'єкта керування (ОК): $l[n]$ — довжина розрядного проміжку; $\rho[n]$ — питомий опір технологічної рідини. На виході НР2 у відповідності до бази правил синтезуються сигнали корекції коефіцієнтів пристрою оцінки інформаційної координати — фільтра (Φ), а також сигнали корекції зони нечутливості релейної функції Ψ регулятора (P) у залежності від значення дисперсії σ_{Σ}^2 інформаційної координати

$$\Sigma[n] = u_{np}[n]/i_m[n] + ki_m[n],$$

яка в свою чергу визначається положенням об'єкта у просторі станів [5]. На виході НР1 у відповідності до бази правил синтезуються сигнали корекції передавального коефіцієнта k_0 регулятора (P), який формує керуючий вплив виконавчого механізму (ВМ). Сигнали корекції визначаються положенням об'єкта у просторі станів. При визначенні функцій належності нечітких регуляторів НР1, НР2 і створенні бази правил для корекції коефіцієнтів алгоритму обробки інформаційного сигналу фільтром (Φ), бази правил для корекції величини зони нечутливості та передавального коефіцієнта релейного регулятора (P) у залежності від положення об'єкта у просторі станів використовуються нечіткі пряма й інверсна модель об'єкта керування.

Нечіткі моделі побудовані методами *fuzzy*-апроксимації на основі апріорної інформації, тобто результатів математичної обробки даних експериментальних досліджень об'єкта керування. Експериментальне дослідження залежності ефективної вихідної інформаційної координати $\Sigma[n]$ та її статистичних характеристик σ_{Σ} від змін координат вхідного вектора $X < l[n], \rho[n] >$ проведено у всьому просторі станів, для чого поставлено дробовий факторний експеримент при одночасному варіюванні всіх незалежних змінних на всіх вибраних рівнях значень з використанням методів планування експерименту (табл. 1, 2).

Значення інформаційної координати $\Sigma[n]$ та її математичне сподівання подані у відносних одиницях, за базове значення прийнято амплітудне значення розрядного струму при короткому замиканні $I_{к.з.}$, а середньоквадратичне відхилення σ_{Σ} приведено до математичного сподівання інформаційної координати $\mathbf{M}(\Sigma[n])$.

Базу правил нечіткої інверсної моделі електровибухового перетворення енергії $l[n] = F(\Sigma[n], \rho[n])$ (табл. 3), що забезпечує алгоритм пошуку адекватної реакції об'єкта на збурення в усьому просторі станів, сформовано на основі бази навчальних даних, в якості якої використано експериментальні дані (див. табл. 1, 2), за алгоритмом побудови бази нечітких правил на основі числових даних [3].

Таблиця 3. База правил нечіткої інверсної моделі

M($\Sigma[n]$)	ρ , Ом·м				
	6,0	7,5	10,0	15,0	20,0
0,40	0,047	0,050	0,056	0,094	0,100
0,45	0,040	0,042	0,048	0,081	0,090
0,50	0,032	0,035	0,038	0,069	0,082
0,55	0,025	0,027	0,030	0,052	0,065

Дослідження перехідних процесів адаптивної системи керування з нечіткими регуляторами НР1, НР2 проведено на моделі, побудованій у середовищі MATLAB [4], яку представлено на рис. 3.

Аналіз результатів моделювання перехідних процесів адаптивної системи керування з нечіткими регуляторами НР1,2 у середовищі MATLAB для різних технологічних режимів та вхідних збурень по координаті l при змінних параметрах середовища ($\rho = var$) показав, що система забезпечує достатню усталену точність $\pm 2\%$ підтримки заданих режимів у всьому просторі станів при широкому діапазоні змін вхідних координат, зберігаючи при цьому стійкість перехідних процесів і прийнятну їх тривалість.

Усталена точність підтримки заданого режиму визначається статистичними характеристиками процесу електровибухового перетворення енергії, а саме середньоквадратичним відхиленням σ_z . На виході система керування підтримує задані значення

вихідної інформаційної координати $\Sigma_{зад}$ у межах $\pm \sigma_z = 0,02$ при ступінчатому збуренні по вхідній координаті l в усій області визначення, що є прийнятним для технологічних режимів електророзрядної обробки виробів. Зона стійкої керованості становить 100 % від області визначення.

ВИСНОВКИ

1. Результати аналізу існуючих систем автоматичного регулювання режимів електровибухового перетворення енергії методами математичного моделювання показали, що якість перехідних процесів залежить від значення координат вхідного вектора, параметрів системи керування та початкового відхилення режиму від номінального, тому при зміні режиму роботи виникає необхідність визначення нових оптимальних значень параметрів і переналаджування системи регулювання для забезпечення стійкості системи в кожному конкретному режимі. За результатами аналізу можна зробити висновок,

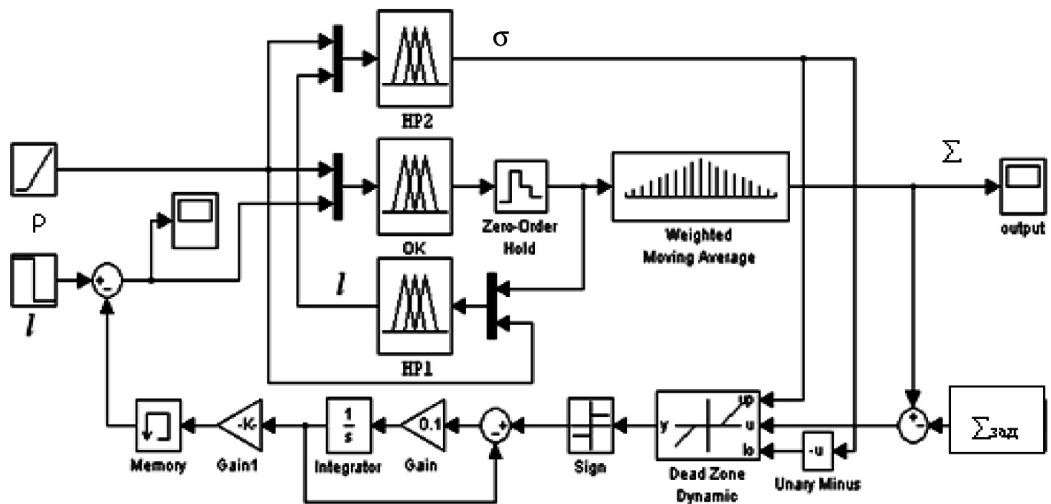


Рис. 3. Структура моделі адаптивної системи керування з НР1, НР2

що в існуючих системах одночасно забезпечити якість перехідних процесів та високу точність регулювання неможливо, тому такі системи можна використовувати в режимах, які не вимагають високої точності підтримки номінальних режимів, та при роботі в умовах незначних відхилень вхідних координат. 2. Аналіз результатів дослідження перехідних процесів адаптивної системи керування з нечіткими регуляторами НР1, НР2 на моделі, побудованій у середовищі MATLAB, показав, що використання нечітких регуляторів для коригування параметрів системи керування в залежності від положення об'єкта в просторі

станів дає змогу забезпечити високу усталену точність підтримки заданих режимів, стійкість системи й прийнятну якість перехідних процесів при будь-яких значеннях вхідного сигналу та змінах параметрів середовища в усій області визначення. 3. Результати дослідження підтвердили, що, використовуючи апарат нечіткої логіки при синтезі адаптивних систем керування електровибуховим перетворенням енергії, можна забезпечити високу ефективність керування на всьому просторі станів в умовах зміни в широкому діапазоні параметрів середовища та дії непередбачуваних збурюючих впливів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Блінцов В.С., Козырев С.С.* Адаптивная система керування електровибуховим перетворенням енергії в умовах невизначеності параметрів середовища та збурюючих впливів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Харьков, 2007. — № 2/3 (26). — С. 28–32.
- [2] *Козырев С.С.* Адаптивная система управления электроимпульсной установкой с использованием нечеткого регулятора // Вест. Нац. техн. ун-та «ХПИ». Темат. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». — Харьков, 2006. — № 37. — С. 92–100.
- [3] *Козырев С.С.* Методика синтезу засобами fuzzy-апроксимації інверсної моделі електровибухового перетворення енергії в умовах невизначеності // Зб. наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Серія «Електротехніка і енергетика». — Вип. 8 (140). — Донецьк, 2008. — С. 78–81.
- [4] *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy TECH. — С.Пб.: БХВ — Петербург, 2003. — 736 с.
- [5] *Назарова Н.С., Козырев С.С.* Разработка адаптивного фильтра информационного сигнала системы управления электрогидроимпульсной установки // Зб. наук. пр. НУК. — Николаїв: НУК, 2004. — № 4 (397). — С. 124–130.
- [6] Синтез модели управления режимом высоковольтного разряда в жидкости / И.Т. Вовк, Л.Е. Овчинникова, Н.С. Назарова, С.С. Козырев: Зб. наук. пр. УДМТУ. — Николаїв: УДМТУ, 2000. — № 1 (367). — С. 128–135.
- [7] Управление электрогидроимпульсными процессами / И.Т. Вовк, В.Б. Друмирецкий, Е.В. Кривицкий, Л.Е. Овчинникова. — К.: Наук. думка, 1984. — 186 с.