

УДК 007:681.516.4

А. О. ЛОЗИНСЬКИЙ (д-р техн. наук, проф.), **Я. С. ПАРАНЧУК** (д-р техн. наук, проф.),
Л. І. ДЕМКІВ (канд. фіз.-мат. наук)

Національний університет «Львівська політехніка»
lozynsky@polynet.lviv.ua yparanchuk@yahoo.com demkivl@gmail.com

АНАЛІЗ СТРУКТУР НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДУГОВИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

Розглянуто системні підходи до структур регуляторів у системах автоматичного керування електричними режимами дугових сталеплавильних печей. Проведено аналіз підходів до синтезу нечітких регуляторів для дугових сталеплавильних печей. Проведено дослідження динамічних характеристик систем з нечіткими регуляторами та проведено порівняльний аналіз запропонованих нечітких систем з типовими.

Ключові слова: електродинамічна система, система автоматичного керування, дугова сталеплавильна піч, ПД-регулятор, нечіткий коректор, нечіткий регулятор, нечітка логіка, функція належності.

Постановка проблеми. Для значної кількості технологічних процесів та електротехнічних об'єктів застосування лінійної теорії автоматичного керування для синтезу регуляторів їх режимів не забезпечує отримання бажаних показників роботи таких систем. У більшості випадків існуючі методи синтезу нелінійних систем спрямовані на забезпечення стійкості систем, а не на формування її поведінки в динаміці. Сучасні методи теорії керування, зокрема, feedback лінеаризація, робастне керування досить складно застосовувати до таких об'єктів. Це пов'язано як зі складністю математичних моделей, які описують такі об'єкти або технологічні процеси, так і зі складністю самої процедури синтезу керуючого впливу.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день, широкого застосування в складних системах набуло використання методів теорії інтелектуального керування. При синтезі керуючих впливів у системах з fuzzy-регулятором використовують різні підходи. Проте, як зазначено в роботах Yager R., «недоліком в системі керування з нечітким регулятором є відсутність систематизованих методів їх проектування та аналізу». Традиційний підхід, що базується на знаннях експерта на першому етапі синтезу призводить до доволі громіздких баз правил і в більшості випадків структура регулятора вимагає подальшої оптимізації. Застосування fuzzy ПД-регуляторів (рис. 1) сформованих з використанням похибки, її похідної та інтегралу похибки вимагає визначення значної кількості коефіцієнтів регулятора та вирішення проблеми наінтегрування. Більш детально недоліки таких регуляторів та можливі шляхи їх усунення показано в роботі [3]. Зокрема, навіть для синтезу ПД-регулятора використання підходу MacVicar-Whelan [5] веде до отримання громіздкої бази правил.

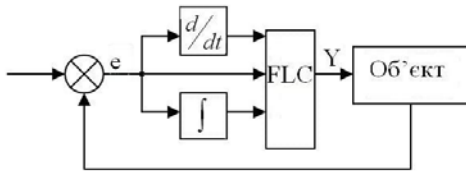


Рисунок 1 - Схема системи керування з нечітким регулятором

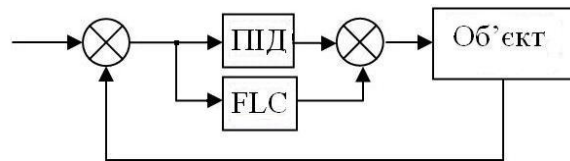


Рисунок 2 - Схема системи керування з ПД-регулятором та його нечітким коректором

Одним з шляхів покращення характеристик складних систем є поєднання методів класичної теорії керування та інтелектуальних підходів. Основний регулятор в таких системах синтезується методом теорії лінійного керування, а задачею нечіткого регулятора є формування корегуючих впливів (рис. 2), які компенсуватимуть параметричні збурення, невідповідності моделі, для якої синтезовано керуючий вплив методом теорії лінійного керування в області простору станів, в якій перебуває система. Синтез таких регуляторів проводять, в основному, з використанням знань експертів та методу перебору.

Пряме застосування регулятора типу Такагі-Сугено, синтезованого з використанням методу керування за повним вектором стану (рис. 3), для складних систем призводить до громіздких баз правил, оскільки, синтезований керуючий вплив є функцією багатьох змінних для кожної з яких визначені свої лінгвістичні змінні. Запропоновані в [3] підходи до синтезу ПД регулятора на основі фазифікації тільки похибки регулювання (рис. 4) можуть бути успішно використані і для синтезу регулятора Такагі-Сугено з керуванням за повним вектором стану. На цьому рисунку ξ – ідентифікатор стану, на основі якого формується керуючий вплив, а змінні x не фазифікуються.

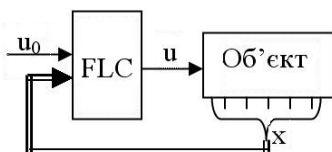


Рисунок 3 – Схема системи з нечітким регулятором за повним вектором стану

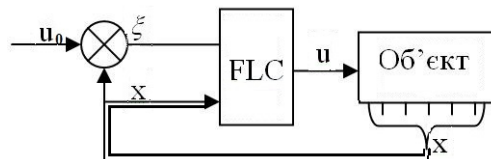


Рисунок 4 – Схема системи з нечітким регулятором, в якому фазифікується лише похибка регулювання

Формулювання цілей статті. Систему переміщення електродів (рис. 5), зокрема, було досліджено в статтях [1, 2]. У першій з них досліджено систему з нечітким регулятором за повним вектром стану, а в другій досліджено систему переміщення електродів з нечітким коректором. В літературі відсутні підходи до синтезу нечітких коректорів, в той же час для синтезу керування за повним вектором стану використовують добре відомі класичні методи. Дослідженню системи з нечітким ПД-регулятором присвячено, зокрема, статтю [4], однак наведені там результати не дають можливості повною мірою відтворити модельовану систему.

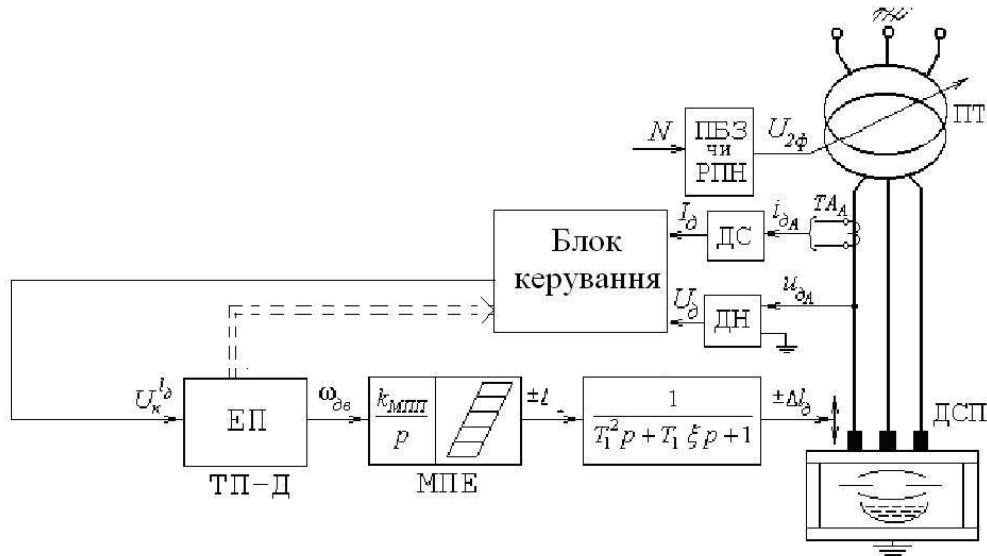


Рисунок 5 – Система автоматичного регулювання положення електродів ДСП (штрихованою лінією позначено варіант керування за повним вектором стану).

Враховуючи складність об'єкта застосування класичної теорії керування не дає можливості спроектувати високоєфективні системи, а існуючі системи керування не забезпечують поставлені вимоги у повній мірі.

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо ефективність застосування двох із згаданих вище підходів, а саме систему керування з коригуючим нечітким регулятором та систему керування за повним вектором стану, для керування переміщенням електродів в ДСП.

На рис. 6 показано часова залежність довжини дуги у випадку використання серійного імпедансного регулятора (рис. 6а), регулятора з нечітким коректором (рис. 6б) та регулятора за повним вектором стану (рис. 6в) при $\omega_0 = 50$. Основні показники якості динаміки відпрацювання детермінованих збурень за довжиною дуги зведено у табл.1. Аналіз отриманих показників дає змогу стверджувати, що застосування принципів інтелектуального керування, у порівнянні з системою з імпедансним регулятором, забезпечується швидший вихід на заданий рівень функціонування системи за відсутності перерегулювання.

Таблиця 1 – Показники динаміки досліджуваних регуляторів довжини дуг ДСП.

Тип регулятора	Характеристика											
	Перерегулювання, %			Час першого досягнення околу робочої точки, с			Час виходу на усталений режим, с			Макс. похибка в усталеному режимі, %		
	к.з.	збільш. довж. дуги	зменш. довж. дуги	к.з.	збільш. довж. дуги	зменш. довж. дуги	к.з.	збільш. довж. дуги	зменш. довж. дуги	к.з.	збільш. довж. дуги	зменш. довж. дуги
Імпедансний	18.5	9.6-16.6	6.5-17.5	0.405	0.2	0.3	1.03	0.5-0.9	0.56-0.94	2.45		
З нечітким коректором	0	0-12.73	0	0.5	0.207-0.34	0.8-1	0.5	0.34-0.95	0.8-1	2.55		
Нечіткий регулятор за повним вектором стану	0	0	0	1.05	0.38-0.43	0.54-0.78	1.05	0.38-0.43	0.54-0.78	0.43		

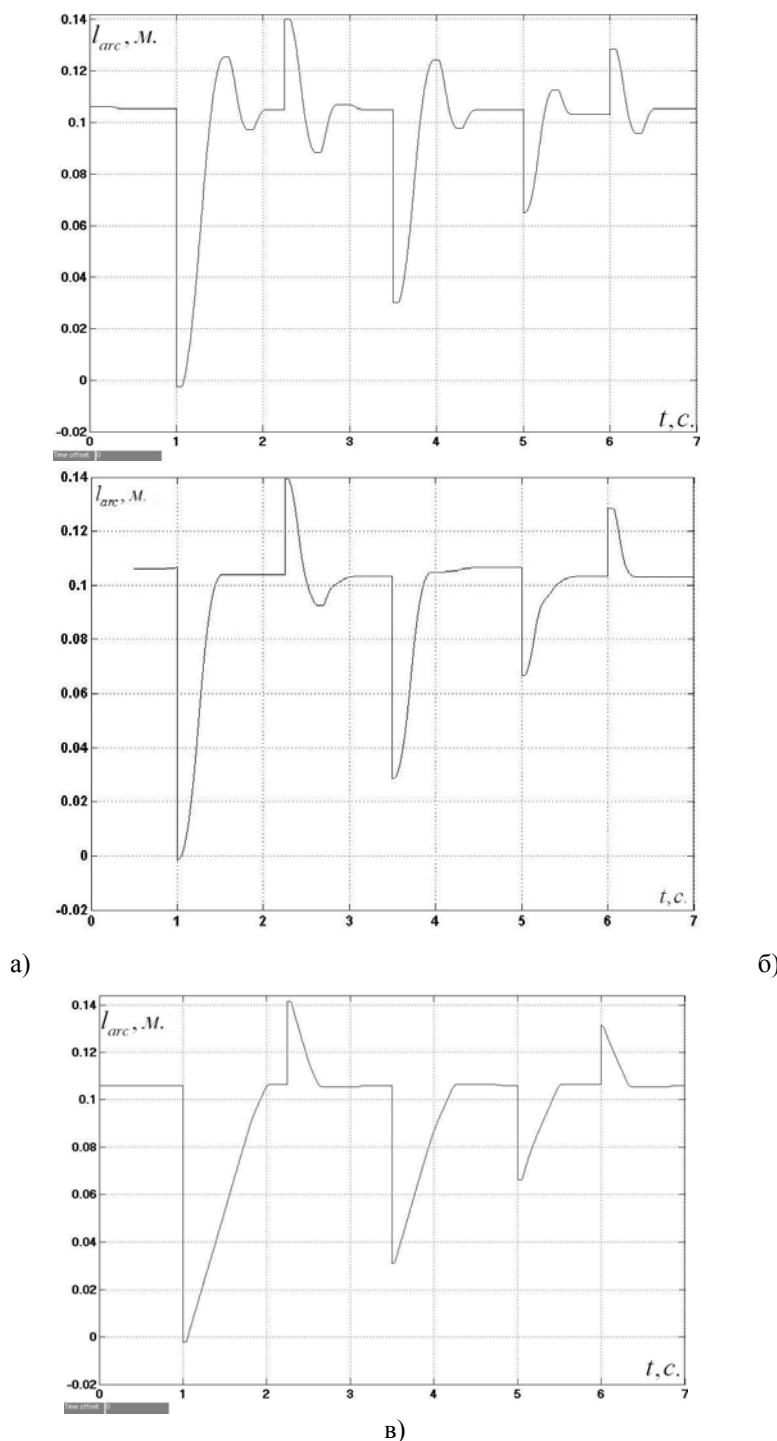


Рисунок 6 – Часові залежності довжини дуги електрода за використання а) імпедансного регулятора; б) регулятора з нечітким коректором; в) нечіткого регулятора за повним вектором стану

Тут I_{arc} – довжина дуги електрода за дії детермінованих збурень за довжиною дуги і зрівноваженої кінематичної схеми механізму переміщення електрода.

Висновки. Порівнюючи між собою досліджувані системи в першу чергу слід зазначити майже цілковиту відсутність перерегулювань та коливальних рухів при застосуванні систем з інтелектуальним керуванням, що підвищує зносостійкість механізмів ДСП. У випадку короткого замикання нечіткий регулятор з коректором має суттєвий (до двох разів у порівнянні з іншими досліджуваними регуляторами) вигравш в часі виходу на усталений режим на фоні відсутніх коливань. Проте при відпрацюванні інших режимів, зокрема зміни довжини дуги, цей регулятор суттєво програє нечіткому регулятору за повним вектором станів. Крім того у нечіткого коректора більша похибка в усталеному режимі, хоча вона і знаходиться в допустимих межах, адже в системі присутня зона нечутливості $\delta = 20\%$. Програш нечіткого регулятора за повним вектором станів можна усунути, взявши іншу структуру регулятора, зокрема змінивши значення середньгеометричного кореня або швидкодію системи.

Одержані результати свідчать про доцільність застосування систем інтелектуального керування ДСП при модернізації чи проектування нових САК за такого керування замість систем з імпедансним регулятором, адже таким чином можна одержати покращення за усіма досліджуваними параметрами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лозинський А.О. Синтез багатокритеріального оптимального керування зі змінними ваговими коефіцієнтами / А.О. Лозинський, Л.І. Демків // Радіоелектроніка, інформатика, управління. — 2012. — № 1. — С. 144-147.
2. Лозинський О.Ю. Дослідження режимів електромеханічної системи регулювання потужності дуг дугової сталеплавильної печі з нечітким паралельним коректором / О.Ю. Лозинський, Я.С. Паранчук, В.І. Мороз, Р.Я. Паранчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. — 2012. — Т. 3. — С. 524-525.
3. Hu B.G. A systematic study of fuzzy PID controllers function based evaluation approach / Hu B.G., Mann G.K.I., Gosine R.G. // IEEE Trans. on fuzzy systems. — 2001. — V. 9.No. 5. — P. 699-712.
4. Babulu Dr. K. Fuzzy self-adaptive PID controller design for electric heating furnace / Dr. K. Babulu, D. Kranthi Kumar // Int. J. Engineering Inventions. — 2012. — V. 1.No. 5. — P. 10-21.
5. MacVicar-Whelan P.J. Fuzzy sets for man machine interaction / P.J. MacVicar-Whelan // Int. J. Man-Mach. Stud. — 1976. — No. 8. — P. 687-697.

REFERENCES

1. Lozynskyy A.O., Demkiv L.I. Synthesis of multicriterion optimal control with variable weights. Radioelektronika, informatyka, upravlinnja. 2012; 1: 144-147.
2. Lozynskyy O.J., Paranchuk J.S., Moroz V.I., Paranchuk R.J. Electric arc furnace electromechanical arcs power control system with fuzzy parallel corrector modes research. Elektromekhanichni i energhozberighajuchi systemy. 2012; 3: 524-525.
3. Hu B.G., Mann G.K.I., Gosine R.G. A systematic study of fuzzy PID controllers function based evaluation approach. IEEE Trans. on fuzzy systems. 2001; 9(5): 699-712.
4. Dr. K. Babulu, D. Kranthi Kumar. Fuzzy self-adaptive PID controller design for electric heating furnace. Int. J. Engineering Inventions. 2012; 1(5): 10-21.
5. MacVicar-Whelan P.J. Fuzzy sets for man machine interaction. Int. J. Man-Mach. Stud. 1976; 8: 687-697.

Надійшла до редакції 04.03.2013

Рецензент: О.І. Толочко

А. О. ЛОЗИНСКИЙ, Я. С. ПАРАНЧУК, Л. И. ДЭМКИВ
Национальный университет «Львовская политехника»

Анализ структур нечетких регуляторов дуговых сталеплавильных печей. Рассмотрены системные подходы к структурам регуляторов в системах автоматического управления электрическими режимами дуговых сталеплавильных печей. Проведен анализ подходов к синтезу нечетких регуляторов для дуговых сталеплавильных печей. Проведено исследование динамических характеристик систем с нечеткими регуляторами и проведен сравнительный анализ предложенных нечетких систем с типичными.

Ключевые слова: электродинамическая система, система автоматического управления, дуговая сталеплавильная печь, ПИД-регулятор, нечеткий корректор, нечеткий регулятор, нечеткая логика, функция принадлежности.

A. LOZYNSKYI, J. PARANCHUK, L. DEMKIV
National University "Lviv Polytechnic"

Analysis of the Electric Arc Furnaces's Fuzzy Regulator Structure. Application of linear control theory for controllers regime synthesis does not ensure the desired performance of the system for a large number of processes and electrical facilities. In most cases, the synthesis methods of nonlinear systems are aimed at ensuring the stability of systems rather than forming its behavior in dynamics. Modern methods of control theory, in particular, feedback linearization, robust control are difficult for application to such objects. It is concerned both to the complexity of mathematical models that describe such objects or processes and to the complexity of the synthesis procedure of the control action. One of the possible ways to improve the performance of complex systems is to combine classical control theory with intellectual approaches. The main regulator in such systems is synthesized by means of the linear control theory and the task of fuzzy controller is to develop corrective actions to compensate the parametric perturbation, discrepancy of the model for which the managing impact by means of the linear control theory was synthesized. Synthesis of such regulators is mainly conducted using expert knowledge and method of enumeration. Direct application of the Takagi-Sugeno controller, synthesized using the method, for complex systems leads to cumbersome rule bases, since the synthesized control action is a function of many variables for each of which its own linguistic variables are defined. Known approaches to the synthesis of PID controller based on fuzzification of only

control error can be successfully used for the synthesis of Takagi-Sugeno full state feedback controller. This paper investigates the system of electric arc furnace's electrode regulation. Taking into account the complexity of the object, classical control theory application does not allow constructing cost-effective systems, and existing control systems do not fully provide all the requirements. We analyze the effectiveness of two of the above mentioned approaches, namely a control system with correction fuzzy controller and system for system which regulates electrodes in arc furnace. In the literature there are no approaches to the fuzzy corrector synthesis and at the same time to synthesis full state feedback control one uses well-known classical methods. Analysis of the results obtained suggests that the application of the principles of predictive control in comparison to a system with impedance controller provides faster output for a specified level of system functioning without overshoot. So, comparing each studied system one should note almost complete absence of overshoot and vibrational motions at application of intelligent control systems which increases durability of arc furnace mechanisms. In case of short circuit fuzzy controller with corrector has a significant (up to two times compared to other monitored regulators) winning time of entering the default mode with almost no fluctuations. However, at other modes, in particular changes in arc length, this regulator essentially losses to a fuzzy full state feedback regulator. Furthermore, fuzzy corrector has the larger error in the steady state, although it is within acceptable limits, since there is a 20% dead zone present in the system. The loss of fuzzy full state feedback controller can be removed by taking a different controller structures, including changing the value of mean geometric root or system performance speed. The obtained results confirm the expediency of intelligent control systems for arc furnaces at upgrading or designing new ACS for such control systems instead of impedance control, because in this way one can obtain improvements by all studied parameters.

Key words: *electrodynamical system, automatic control system, arc furnace, PID-controller, fuzzy corrector, fuzzy controller, fuzzy logic, membership function.*