

УДК 004.896 + 681.5.01

ПРОЕКТУВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ЧАСТИНАМИ ПОЛІГРАФІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

П. І. Шепіта

Українська академія друкарства
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Проведено аналіз потреби розробки інтегрованого нейроконтролера для інтелектуальної системи управління. Досліджено останні публікації за схожою тематикою та проаналізовано результати цих досліджень, в результаті чого отримано висновок про те що для кожного окремого типу об'єкта управління необхідно розробляти, або модифікувати нейроконтролер. Визначено необхідні критерії для проектування нейроуправління електромеханічними (динамічними) об'єктами друкарського цеху. Обрано основний тип нейроконтролера та описано математичний апарат для його реалізації. На основі ПІ-регулятора створено масив даних для навчання штучної нейронної мережі, для побудови та моделювання даної схеми використано середовище Matlab: Simulink. На основі отриманих даних для навчання реалізовано NPC контролер. Проведено моделювання блок схеми управління з NPC контролером. Результат моделювання показав достатньо високу швидкодію системи. В результаті дослідження побудовано узагальнену структурну схему інтелектуальної системи управління на основі штучних нейронних мереж.

Ключові слова: Штучні нейронні мережі, Matlab, NPC, Neural Network Toolbox, Пі-регулятор, інтелектуальні системи управління.

Постановка проблеми. Інтеграція інтелектуальних систем в управління виробничими процесами є досить складним та трудомістким процесом. Насамперед це пов'язано як із засобами збору даних про об'єкт управління, так і з засобами управління. Їх адаптування до інтелектуальної системи управління (ІСУ) є важливим етапом її проектування. Для ІСУ з нейромережовим аналітичним апаратом доцільно застосувати нейроконтролери. Оскільки в поліграфічному цеху є чимало електромеханічних об'єктів управління, то застосування даного типу контролерів для слід розглядати на таких системах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В літературі описуються приклади та теорії застосування нейронних мереж, а саме нейроуправління (нейроконтролерів), при вирішенні задач управління та керування об'єктами різного типу, зокрема і динамічними [1, 2].

Досить часто при використанні електромеханічних систем використовують прогнозуючі нейронні мережі [3, 4]. У роботі [3] використовують засоби програмного забезпечення для моделювання Matlab, застосовуючи функції пакету прикладних програм при моделюванні нейроконтролера з прогнозу-

ванням для військового озброєння з динамічними характеристиками. Однак в даній роботі відсутні описи алгоритмів навчання нейроконтролера та алгоритми пошуку сигналів управління на динамічний об'єкт. Також важко зрозуміти застосовані параметри нейроконтролера.

В [5] розроблено процедуру синтезу системи управління нелінійними динамічними об'єктами із застосуванням RBF-мережі і досить ретельно розглянуті питання синтезу її структури та алгоритму налаштування основних параметрів регулятора. У ряді інших праць [6, 7, 8], було запропоновано методи синтезу систем нейромережевого управління складними динамічними об'єктами.

Проведений аналіз літератури показує, що є чимала кількість підходів що пов'язані із проблемою створення систем управління складними динамічними нелінійними об'єктами при випадкових сигналах збурень, при цьому універсального регулятора, який би забезпечував усі параметри для кожного об'єкта поки не існує, тому актуальною є потреба проектування нейроконтролерів та нейрорегуляторів для окремо взятих об'єктів та процесів виробничого обладнання.

Мета статті. Побудувати математичну модель прогнозуючого нейроуправління та дослідити засобами пакету прикладних програм Matlab можливість його застосування для управління динамічним об'єктом в межах системи інтелектуального управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблено блок схему інтелектуального управління на основі нейроконтролера з прогнозуванням на основі моделі, що дає змогу задати еталонні параметри (рис.1).

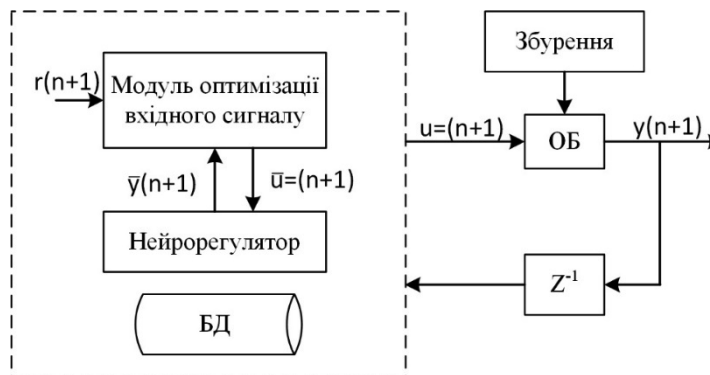


Рис.1. Блок схема управління на основі нейроконтролера

Для того щоб прогнозувати поведінку системи в процесі роботи використано прямий нейрорегулятор, також на основі цього регулятора реалізовано визначення та обмеження похибок.

На вхід системи також додано еталонну модель для ефективнішого визначення похибок [7]. Також до системи включено модуль оптимізації, що слугує для опрацювання вхідних даних.

На основі вартісної функції лінеаризації (CFM) реалізовано алгоритм оптимізації, який визначає необхідність керуючої дії на об'єкт управління (ОБ), для забезпечення сталого результату.

Дана модель застосована до електромеханічних об'єктів з низькою та середньою частотою дискретизації, оскільки якщо при входженні до системи об'єкта з високою частотою дискретизації даний регулятор втрачає свою ефективність через те, що алгоритм оптимізації, робота якого відбувається в режимі реального часу, за один такт не зможе прогнозувати найкращу стратегію застосування управляючих дій на об'єкт, що потрапив під дію збурення.

Для використання даного методу в систему введено модуль оптимізації замість нейроконтролера з вчителем. Даний модуль працює в режимі реального часу на основі квазі – Ньютонівського алгоритму оптимізації [10].

В завданнях нейрорування для представлення об'єкта застосовують його модель яку ще називають моделлю чорного ящика [10]. Для нього спостерігаються значення входу та виходу системи.

Вважаємо що розмірність вектора стану об'єкта є відомою, а динаміку поведінки об'єкта наведено у дискретному вигляді в просторі станів.

$$D(k+1) = F(D(k) u(k), \quad (1)$$

$$y(k+1) = \theta(D(k), \quad (2)$$

де $D_k \in R^V$ – значення V -мірного вектора стану об'єкта на k -му такті. $u(k) \in R^P$ – значення P -мірного вектора управління.

Для проведення моделювання даної системи застосовано тришарову рекурентну нейронну мережу з прогнозуванням. Вона складається з вхідного шару, прихованого шару для побудови якого застосовано гіперболічну функцію ($th x$) активації, а для отримання кінцевого результату у вихідному шарі застосовано лінійну функцію активації та для полегшення налагодження системи використано один нейрон.

При обчисленні вихідного сигналу управління застосовано наступний математичний апарат:

$$y(n) = \sum_{i=1}^{hsd} w_i f_i \left(\sum_{j=0}^{N_n} w_{i,j+1} u(n-j) + \sum_{j=1}^{N_{out}} w_{i,N_n+j+1} y(n-j) + b_i \right) + b, \quad (3)$$

де $y(n)$ – вихід нейронної мережі на n -му такті,

$f_i(net_i(n))$ – функція активації i -го вузла прихованого шару,

b, b_i – зміщення на i -му нейроні прихованого та вихідного шару.

Для моделювання застосовано пакет прикладних програм Matlab, а саме Neural Network Toolbox в якому реалізовано контролер з прогнозуванням (NPC) [6, 10].

Контролер мінімізує критерії якості управління інтегральної похибки. Застосовується функція якості (1) за якою обчислюються сигнали управління на заданому часовому проміжку. Також при потребі можливо використати різні функції оптимізації для вихідних результатів.

Для навчання нейронної мережі створено масив даних. Для його створення побудовано модель системи, в якій для реалізації управління застосовано ПІ – регулятор [11, 12] (рис.2.).

Оскільки найважливішим показником якості системи управління є точність, то в якості параметра ефективності системи керування обрано мінімум середньоквадратичного відхилення. Синтез параметрів регулятора прийнято оптимізувати та налаштувати в інтерактивному режимі із використанням середовища Matlab: Simulink – Control System Toolbox [13].

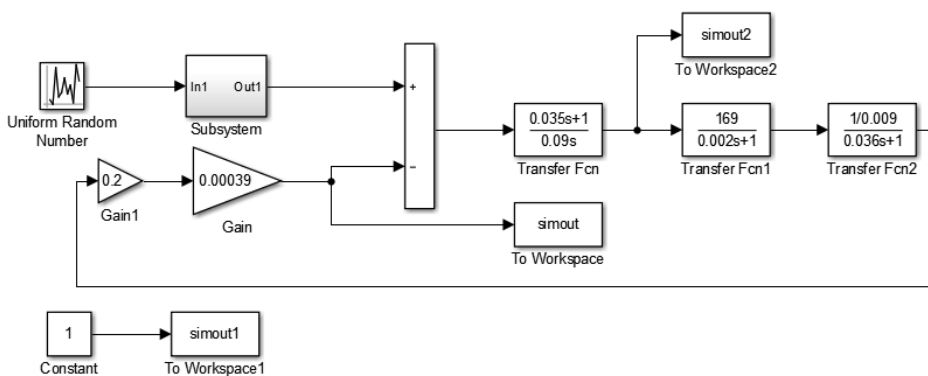


Рис.2. Блок схема для створення набору даних для навчання

Після проведення моделювання в робочу зону середовища прикладних програм *Matlab* із блоків *To Workspace* отримано навчальну вибірку даних (*simout*) для даної системи, та проведено навчання нейрорегулятора NPC, побудовано блок-схему в середовищі для моделювання даної системи із застосуванням нейрорегулятора з прогнозуванням результату (рис.3).

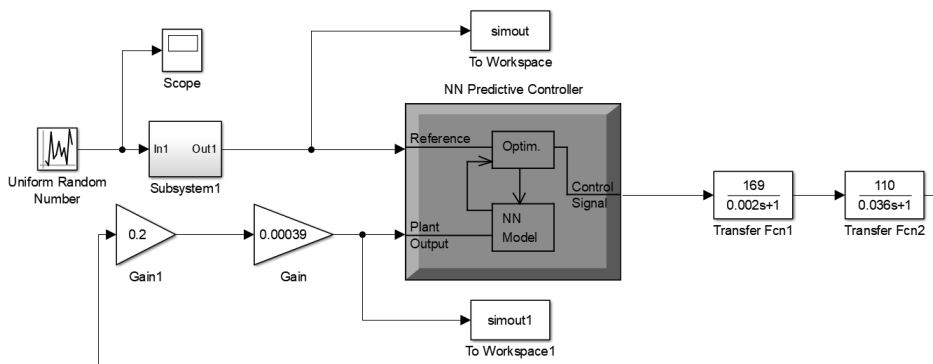


Рис.3. Блок схема управління електромеханічним об'єктом із застосуванням NPC контролера

Навчання нейронної мережі проводилось на навчальній вибірці, при дії на об'єкт управління випадкових збурень.

Розмір вибірки становить 2032 точок для навчання та 960 точок для перевірки та тестування ШНМ. Вхідному значенню відповідають значення похибки, цільовому значенню – вибірка керуючих впливів, які надсилає регулятор на об'єкт [13].

Для правильного формування управляючих сигналів на об'єкт управління в системі регулювання з NPC контролером задано наступні його параметри (рис.4.).

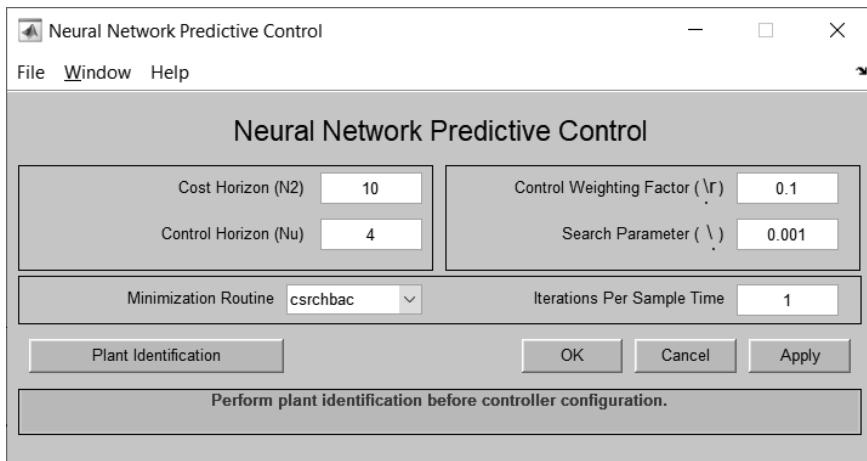


Рис.4. Параметри налаштування NPC контролера

Проведено моделювання даної системи та отримано перехідну характеристику (рис.5) побудовану на основі даних отриманих з блоку *To Workspace 1*. З графіку видно, що корегування роботи об'єкта відбувається за дуже короткий проміжок часу.

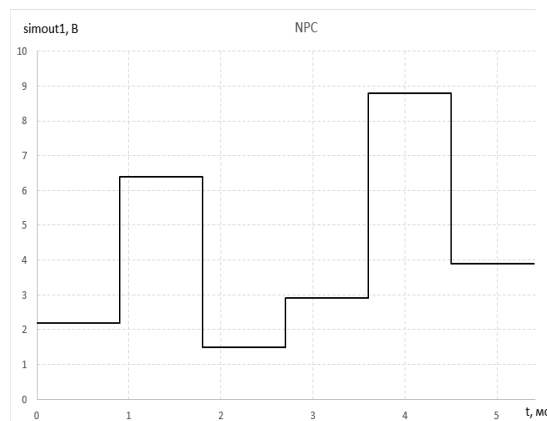


Рис.5. Вихідна характеристика системи проектованої управління

Для інтеграції даного регулятора до системи інтелектуального управління виробничими процесами поліграфічного виробництва застосовано метод експорту даних нейрорегулятора із середовища Matlab в C/C++ код, що полегшує створення системи в цілому, адже кожен елемент та регулятор можна відпрацювати в середовищі моделювання і лише потім інтегрувати в систему для тестування на реальному об'єкті.

Для наочності демонстрації інтелектуальної системи управління (ІСУ) побудовано узагальнену структурну схему даної системи (рис.6).

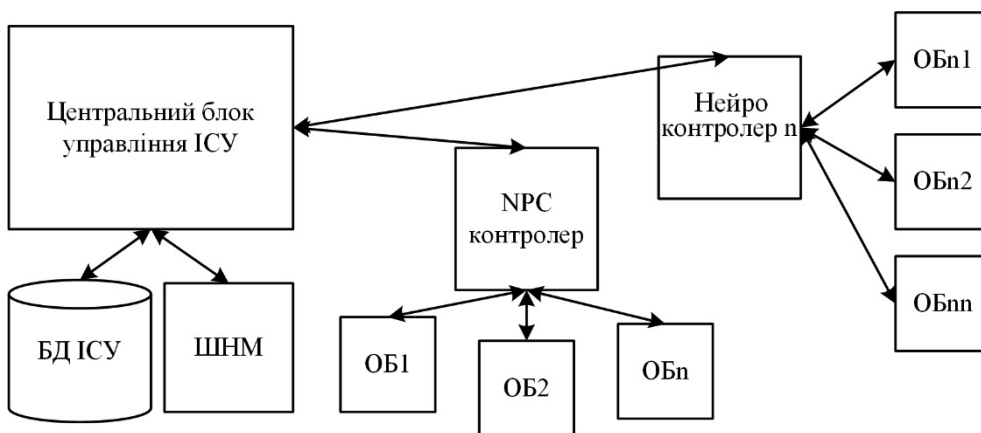


Рис.6. Узагальнена блок-схема ІСУ з інтегрованим NPC

Інтегрований нейроконтролер може управляти багатьма динамічними об'єктами в цеху, оскільки якщо контролер працює на одному режимі управління його ефективність значно вища, то для кожного окремого типу об'єктів слід побудувати окремий контролер і додати його властивості в інтелектуальну систему управління у вигляді програмного коду отриманого із середовища прикладних програм Matlab.

База даних (БД), яку використовує ІСУ – це розширена та доповнена база даних підприємства, яка привнесенні до неї параметрів роботи, бажаної реакції обладнання на них та способи виправлення тих чи інших збоїв в роботі, слугує ще й і базою знань системи управління [14]. Оскільки до неї вносяться дані про всі проблеми з якими не може впоратись комплекс регуляторів. Ці дані слугують в подальшому для покращення системи інтелектуального управління, та наочного представлення результатів її роботи, також ці дані враховуються при розрахунку затрат часу на виконання певного типу робіт, навіть якщо нештатних ситуації не відбудеться виключати їх виникнення система неможне.

Висновки. В результаті дослідження виявлено, що при інтеграції NN Predictive Control в інтелектуальну систему управління та при його застосуванні на конкретному прикладі (електромеханічному об'єкті) стає можливим отримання високої точності управління за короткий проміжок часу.

Список використаних джерел

1. Bordons C., Garcia-Torres F., Miguel A. Ridao. Model Predictive Control of Microgrids - Springer International Publishing – 2020 – 266p.
2. Zhong-Hua Pang, Guo-Ping Liu, Donghua Zhou, Dehui Sun Networked Predictive Control of Systems with Communication Constraints and Cyber Attacks - Springer Singapore -2019 - 219p.
3. Кузнецов Б. И., Василец Т. Е., Варфоломеев А. А. Синтез нейроконтроллера с предсказанием для двухмассовой электромеханической системы - Электротехника и электромеханика.— 2008. —Т. 3. — С. 27 — 32.
4. Ławryńczuk M. Computationally Efficient Model Predictive Control Algorithms: A Neural Network Approach - Springer International Publishing - 2014 - 316p.
5. Nelles O. Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural Networks, Fuzzy Models, and Gaussian Processes - Springer - 2021 - 1225p. ISBN:3030474380, 9783030474386
6. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. – Харьков: Телетех, 2004. - 264 с.
7. Клепиков В. Б. Палис Ф. Клепиков А. В. К созданию интеллектуального электропривода для управления машинами с нелинейным трением - Вестник НТУ «ХПИ», Харьков: НТУ «ХПИ».- 2001.- С. 415-417
8. Мірських Г.О., Адаменко В.О., Штучні нейронні мережі і їх застосування в проектуванні та експлуатації технічних об'єктів - монографія – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 372 с.
9. Neroda T. Automated configuration service modelling in resource organization of the experimental researches subject-informational platform. Computer technologies of printing. – Lviv, 2018. – Vol. 40. –P. 46-52
10. Чернодуб, А.Н. Дзюба, Д.А. Обзор методов нейроуправления – Проблем. програм. Институт программных систем НАН Украины. — 2011. — No 2. — С. 79-94.
11. Жученко А. І., Ковалюк Д. О., Дзюба Є. В., Нечітка система керування температурним режимом ацетиленового генератора / Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 48 – 51.
12. Marvin L. NEURAL NETWORKS with MATLAB - CreateSpace Independent Publishing Platform – 2016 – 231p.
13. Шепіта П.І. Проектування функціональної моделі нейрорегулятора температури для інтелектуальної системи управління - Збірник наукових праць, випуск 89, ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К.2018 С 195-203. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3860774>
14. Шепіта П.І. Розробка алгоритмічних засобів координування виробничого процесу - матеріали XVII науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Друкарство молоде». – Київ: «КПІ», 2017. – С. 49-51.

REFERENCES

1. Bordons C., Garcia-Torres F., Miguel A. Ridao. (2020). Model Predictive Control of Microgrids - Springer International Publishing — 266p. (in English)
2. Zhong-Hua Pang, Guo-Ping Liu, Donghua Zhou, (2019). Dehui Sun Networked Predictive Control of Systems with Communication Constraints and Cyber Attacks - Springer Singapore - 219p. (in English)

3. Kuznetsov B.I., Vasilets T.E., Varfolomeev A.A. (2008). Synthesis of a predicted neurocontroller for a two-mass electromechanical system - Electrical engineering and electromechanics. —Vol. 3. - P. 27 - 32. (in Russian)
4. Ławryńczuk M. (2014). Computationally Efficient Model Predictive Control Algorithms: A Neural Network Approach - Springer International Publishing - 316p. (in English)
5. Nelles O. (2021). Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural Networks, Fuzzy Models, and Gaussian Processes - Springer - 1225p. ISBN:3030474380, 9783030474386 (in English)
6. Bodyansky E.V., Rudenko O.G. (2004). Artificial neural networks: architectures, training, applications. - Kharkiv: Teletch - 264 p. (in Russian)
7. Klepikov V.B. Palis F., Klepikov A.V. (2001). On the creation of an intelligent electric drive for controlling machines with nonlinear friction - Bulletin of NTU “KhPI”. “Problems of automated electric drive. Theory and practice”, Kharkov: NTU “KhPI” - P. 415-417. (in Russian)
8. Mirskykh G.O., Adamenko V.O. (2014). Artificial neural networks and their application in the design and operation of technical facilities - monograph - K. : NTUU “KPI” - 372 p. (in Ukrainian)
9. Neroda T. (2018). Automized configuration service modelling in resource organization of the experimental researches subject-informational platform. Computer technologies of printing. – Lviv– Vol. 40. –P. 46-52. (in English)
10. Chernodub, A.N. Dziuba, D.A. (2011). Review of neuromanagement methods - Problems. programs. Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine. - No 2. - P. 79-94. (in Russian)
11. Zhuchenko A.I., Kovalyuk D.O., Dzyuba E.V. (2014). Fuzzy temperature control system of acetylene generator / East European Journal of Advanced Technologies. - № 1/2 (67). - P. 48 - 51. (in Ukrainian)
12. Marvin L. (2016). Neural networks with matlab - CreateSpace Independent Publishing Platform — 231p. (in English)
13. Shepita P.I. (2018). Design of a functional model of the neuroregulator of temperature for the intelligent control system - Collection of scientific works, issue 89, IPME. G.Ye. Pukhov National Academy of Sciences of Ukraine. - K. P 195-203. <https://doi.org/10.52810/zenodo.3860774> (in Ukrainian)
14. Shepita P.I. (2017). Development of algorithmic means of coordination of the production process - materials of the XVII scientific and technical conference of students and graduate students “Young Printing”. - Kyiv: KPI - P. 49-51. (in Ukrainian)

DOI 10.32403/2411-9210-2021-1-45-17-25**DESIGN OF CONTROL OF ELECTROMECHANICAL PARTS
OF PRINTING EQUIPMENT BY MEANS
OF INTELLECTUAL SYSTEMS**

P. Shepita

*Ukrainian Academy of Printing
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
pshepita@gmail.com*

The analysis of the need to develop an integrated neurocontroller for intelligent control system is carried out. Recent publications on similar topics have been researched and the results of these studies are analyzed, concluding that a neurocontroller should be developed or modified for each individual type of control object. Necessary criteria for designing neurocontrol of electromechanical (dynamic) objects of the printing shop are determined. The main topic of the neurocontroller is chosen and the mathematical apparatus for its implementation is described. Based on the PI controller, an array of data has been created for training an artificial neural network, and the Matlab: Simulink environment has been used to build and model this circuit. On the basis of the received data for training, the NPC controller is realized. Modeling of the control circuit block with the NPC controller is carried out. The simulation result has shown a fairly high system speed. As a result of the research, the generalized structural scheme of the intelligent control system on the basis of artificial neural networks is constructed.

Keywords: *Artificial neural networks, Matlab, NPC, Neural Network Toolbox, Pi-regulator, intelligent control systems.*

*Стаття надійшла до редакції 11.12.2020
Received 11.12.2020*