

8815  
040

**I**NFORMATION

**P**ROCESSING

**S**YSTEMS

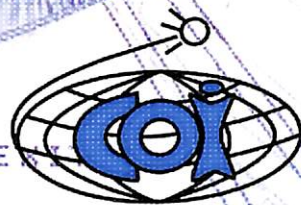
ISSN 1681-7710

**СИСТЕМИ**

**ОБРОБКИ**

**ІНФОРМАЦІЇ**

**ВИПУСК 2 (153)**



**Харків - 2018**



МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА



# Системи обробки інформації

Щоквартальне  
наукове видання

Випуск 2 (153)

Заснований  
у березні 1996 року

У збірнику відображено результати досліджень з розробки нових інформаційних технологій як для рішення традиційних задач збору, обробки та відображення даних, так і для побудови систем обробки інформації у різних проблемних галузях. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

Засновник і видавець:  
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

61023, м. Харків-23,  
вул. Сумська, 126,  
а/с 11800

Телефон:  
+38 (057) 704-91-97  
+38 (067) 998-02-70

E-mail редколегії:  
red@hups.mil.gov.ua  
red.hnups@gmail.com

Інформаційний сайт:  
www.hups.mil.gov.ua

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ  
В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ



ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ  
В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ



МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ



ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ



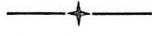
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ



ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА



СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ



МЕТРОЛОГІЯ,  
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА СИСТЕМИ



Харків • 2018

БІБЛІОТЕКА ХУПС  
№ 18512

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### Головний редактор:

ТИМОЧКО Олександр Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків).

### Заступник головного редактора:

СУХАРЕВСЬКИЙ Олег Ілліч (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків).

### Члени редколегії:

- БАЙРАМОВ Азад Агахар Огли (д-р фіз.-мат. наук проф., Військова академія, Баку, Азербайджан);
- БАРАННИК Володимир Вікторович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ВАРША Зігмунд Лех (канд. техн. наук, Інститут промислових досліджень автоматизації та вимірювань, Варшава, Польща);
- ВАСЮТА Костянтин Станіславович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ГУСАК Юрій Аркадійович (д-р військ. наук с.н.с., ГШ ЗС України, Київ);
- ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХНУ, Харків);
- ГОРОДНОВ В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ДРОБАХА Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ЄВДОКИМОВ Віктор Федорович (д-р техн. наук проф., член-кор. НАНУ, ІПМЕ НАНУ, Київ);
- ЄРМОШИН Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ЗАХАРОВ Ігор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);
- ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз.-мат. наук с.н.с., ІРЕ НАНУ, Харків);
- КАВУН Сергій Віталійович (д-р екон. наук доцент, ХННІ ДВНЗ „Університет банківської справи”, Харків);
- КАЛАШНИКОВ Вячеслав (д-р техн. наук проф., Монтеррейський технологічний інститут, Мексика);
- КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович (д-р фіз.-мат. наук проф., академік НАНУ, РІ НАНУ, Харків);
- КОНОНОВ Володимир Борисович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);
- КУЛЬПА Христоф (д-р техн. наук проф., Варшавський політехнічний університет, Польща);
- КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);
- КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук проф., НТУ „ХПІ”, Харків);
- АЛЬ МАРСУМИ Нух Таха Насиф (канд. техн. наук коледж університету AL-NUKHBA, Багдад, Республіка Ірак);
- ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);
- ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук доц., ХНУПС, Харків);
- ПОРОШИН Сергій Михайлович (д-р техн. наук проф., НТУ „ХПІ”, Харків);
- РАДЄВ Христо Кирилов (д-р техн. наук проф., Технічний університет, Софія, Болгарія);
- РУБАН Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);
- СМЕЛЯКОВ Кирило Сергійович (д-р техн. наук проф., ХНУПС, Харків);
- СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ФРЕЙЛИКХЕР Валентин (д-р фіз.-мат. наук проф., Університет імені Бар-Ілана, Ізраїль);
- ХАКІМОВ Ортаголи Шарипович (д-р техн. наук проф., Науково-дослідний інститут стандартизації, метрології та сертифікації, Ташкент, Узбекистан);
- ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук проф., НАКУ „ХАІ”, Харків);
- ШМАКОВ Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків);
- ЯРОШ Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХНУПС, Харків).

### Відповідальний секретар:

ЗУБРИЦЬКИЙ Григорій Миколайович (канд. техн. наук доц., ХНУПС, Харків).

*Затверджений до друку вченою радою Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (протокол від 26 червня 2018 року № 8)*

*Занесений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук” (технічні та військові науки), затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528 (із змінами від 22.12.2016 № 1604)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
КВ № 22357 – 12257ПР від 30.09.2016 р.*

*Усі статті, що публікуються у журналі, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів (подвійне сліпе рецензування).*

*За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор*



Інформаційний сайт видання: [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua)

Публічність та доступ: Журнал зберігається у загальнодержавній базі даних Державної бібліотеки ім. Вернадського „Україніка наукова” та включено у довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA).

Авторські права: За авторами зберігаються усі авторські права та права на видання без обмежень. Журнал дозволяє користувачам: читати, завантажувати, копіювати, поширювати, друкувати та посилатися на повні тексти статей за умови зазначення авторства. Дозволяється повторне використання змісту журналу у відповідності з ліцензією Creative Commons CC-BY.

Наукометричні показники:

ICV (Index Copernicus Value) = 58,10



MINISTRY OF DEFENCE OF UKRAINE  
IVAN KOZHEDUB KHARKIV NATIONAL  
AIR FORCE UNIVERSITY



# Information Processing Systems

Quarterly  
scientific publication

Issue 2 (153)

Founded in March, 1996

The journal Information Processing Systems was founded in 1996 and became first information platform for Ukrainian specialists in the field of data-processing system. The objective of journal is to publish research finding on the development of new information technologies both for solving traditional problems such as harvesting, manipulating and presentation of data and for building data-processing system in different fields.

**Founder and publisher:**  
Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University

**Address:** a/c 11800,  
Sumska street 126,  
Kharkiv, 61023,  
Ukraine

**Phone:** +38 (057) 704-91-97  
+38 (067) 998-02-70

**E-mail:** red@hups.mil.gov.ua  
red.hnups@gmail.com

**Website:** www.hups.mil.gov.ua

INFORMATION PROCESSING  
IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS



INFORMATION PROCESSING  
IN COMPLEX ORGANIZATIONAL SYSTEMS



MATHEMATICAL MODELS AND METHODS



INFOCOMMUNICATION SYSTEMS



INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION



INFORMATION SECURITY AND CYBERSECURITY



SYSTEMS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE



METROLOGY, INFORMATION AND MEASUREMENT  
TECHNOLOGIES AND SYSTEMS



Kharkiv • 2018

## EDITORIAL STAFF

### Editor-in-Chief:

Oleksandr Tymochko (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine)

### Deputy Editor-in-Chief:

Oleh Sukharevsky (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine)

### Editorial Board:

- Azad Ahakhar oglu Bairamov (Doctor of Physics and Mathematics Professor, Military Academy of the Armed Forces, Baku, Azerbaijan);
- Volodymyr Barannik (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Zygmunt Lech Warsza (PhD, Industrial Research Institute for Automation and Measurements, Warsaw, Poland);
- Kostiantyn Vasyuta (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Mykola Horobets (Doctor of Physics and Mathematics Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine);
- Viacheslav Gorodnov (Doctor of Military Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Yurii Husak (Doctor of Military Sciences Senior Researcher, General Staff of the Armed Forces of Ukraine);
- Hryhorii Drobakha (Doctor of Military Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Viktor Yevdokymov (Doctor of Technical Sciences Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine);
- Mykhailo Ermoshin (Doctor of Military Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Ihor Zakharov (Doctor of Technical Sciences Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine);
- Viktor Ivanov (Doctor of Physics and Mathematics Senior Researcher, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine);
- Serhii Kavun (Doctor of Economic Sciences Associate Professor, Kharkiv Educational and Scientific Institute of SHEI "Banking University", Ukraine);
- Viacheslav Kalashnikov (Doctor of Technical Sciences Professor, Monterrey Institute of Technology and Higher Education, Mexico);
- Oleksandr Konovalenko (Doctor of Physics and Mathematics Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Radio Astronomy of the National Academy of Sciences of Ukraine (IRA NASU), Ukraine);
- Volodymyr Kononov (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Krzysztof S. Kulpa (Full professor with habilitation, Warsaw University of Technology, Poland);
- Leonid Kupchenko (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Heorhii Kuchuk (Doctor of Technical Sciences Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine);
- Yurii Losev (Doctor of Technical Sciences Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine);
- Nooh Taha Nasif Al-Marsumy (Doctor of Philosophy, AL-NUKHBA University College, Baghdad, Republic of Iraq);
- Maksim Pavlenko (Doctor of Technical Sciences Associate Professor, KNAFU, Ukraine);
- Serhii Poroshin (Doctor of Technical Sciences Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine);
- Hristo Radev (Doctor of Technical Sciences Professor, Technical University of Sofia, Bulgaria);
- Ihor Ruban (Doctor of Technical Sciences Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine);
- Kyrilo Smelyakov (Doctor of Technical Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Serhii Smelyakov (Doctor of Physics and Mathematics Professor, KNAFU, Ukraine);
- Valentyn Freilikher (Doctor of Physics and Mathematics Professor, Bar-Ilan University, Israel);
- Ortaholy Hakimov (Doctor of Technical Sciences Professor, Research Institute Standardization, Metrology And Certification, Republic of Uzbekistan);
- Viacheslav Harchenko (Doctor of Technical Sciences Professor, National Aerospace University "KhAI", Ukraine);
- Oleksandr Shmakov (Doctor of Military Sciences Professor, KNAFU, Ukraine);
- Serhii Yarosh (Doctor of Military Sciences Professor, KNAFU, Ukraine).

### Executive Secretary:

Hryhorii Zubrytskyi (Candidate of Technical Sciences (PhD) Associate Professor, KNAFU, Ukraine)

Academic Council of Ivan Kozhedub Kharkiv national Air Force University confirmed for printing  
(record № 8 dated June, 26, 2018)

Inscribed to the "List of Scientific Professional Publications of Ukraine, where results of final papers for the Doctor of Science degree and Doctor of Philosophy can be published" (Technical and Military Sciences), maintained by order of Ministry of Education and Science of Ukraine № 1528 dated December, 29, 2014 (as amended № 1604 dated December, 22, 2016)

The State Registration Certificate of printed mass media  
KB № 22357 – 12257ПП dated October, 30, 2016

All the articles that are published in the journal must be peer reviewed.  
It is conducted anonymous both for authors and reviewers (double blind peer review).

The authors take responsibilities for the reliability of stated facts, quotations and other statements.



Website: [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua).

**Publicity and access:** The journal is stored in federal abstract database of Vernadsky National Library „Ukrayinika naukova” and included with periodical reference book Ulrich’s Periodicals Directory (USA).

**Author’s rights:** The authors retained all copyrights and publishing rights with no limited publications. The journal allows users: to read, download, copy, distribute, type and refer to the whole articles upon conditions of affiliation. Repeated recycling of journal contents is allowed according to Creative Commons CC-BY licence.

**Scientometrical indexes:**

ICV (Index Copernicus Value) = 58,10

## З М І С Т

### ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

- Василець Т.Ю., Варфоломійєв О.О., Іщенко В.С., Ковальчук С.Л., Сусла О.О.*  
Синтез нейромережевого регулятора для електромеханічної системи з пружними зв'язками в кінематичних передачах ..... 7
- Гусарова И.Г., Коротенко А.Н.*  
Результати численного моделирования переходных режимов течения газа по участку трубопровода методом характеристик ..... 18
- Засядько А.А.*  
Метод прогнозу параметрів руху високошвидкісного транспорту на основі багатокритеріальної оптимізації і диференціальних перетворень ..... 27
- Задачин В.М.*  
Прогнозування міського погодинного водоспоживання ..... 36
- Рисаков М.Д., Кулик О.П., Тимов І.В., Рот С.М., Білоус О.В.*  
Обґрунтування доцільності удосконалення посадкового радіолокатора системи РСР-10МА для забезпечення посадки повітряних суден при мінімумі погоди І категорії ...с. 43

### ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

- Грабовський Є.М.*  
Методика створення електронного каталогу обладнання видавничо-поліграфічного виробництва на основі використання програмних агентів ..... 52
- Копп А.М., Орловський Д.Л.*  
Підхід к построению репозитория моделей бизнес-процессов ..... 60
- Макарова Г.В., Ушакова І.О.*  
Створення алгоритму підбору бізнес-партнерів за допомогою методів Data Science ..... 69
- Литвиненко М.І., Шило С.Г., Борозенець І.О., Мажаров В.С.*  
Метод подання поверхневої структури повідомлень на обмеженій природній мові взаємодії операторів з автоматизованою системою управління повітряним рухом (engl.) ..... 75

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

- Дубницький В.Ю., Петренко О.Е., Ходырев А.И.*  
Определение доверительных интервалов параметров распределения Крицкого-Менкеля ..... 81

### ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ

- Проскурин Н.П.*  
Развитие оптических связей, микромощных оптронов и их компонентов для интерфейсов цифровых интегральных схем ..... 88

## C O N T E N T S

### INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

- Vasylets T., Varfolomiyev O., Ishchenko V., Kovalchuk S., Susla O.*  
Synthesis of a neural network controller for electro-mechanical system with elastic coupling in kinematic transmissions ..... 7
- Husarova I., Korotenko A.*  
The results of numerical modeling of transitional modes of the gas flowing on the pipeline section by the characteristics method ..... 18
- Zasjadko A.*  
A method of extrapolation of parameters of motion of high-speed transport is on basis of multi-criteria optimization and differential transformations ..... 27
- Zadachyn V.*  
Forecasting of urban hourly water consumption ..... 36
- Rysakov M., Kulik O., Titov I., Rot S., Bilous O.*  
Ground of expedience of improvement landing radio-locator of system RSL-10MA for providing of landing of air courts on norms I categories of meteominimum ..... 43

### INFORMATION PROCESSING IN COMPLEX ORGANIZATIONAL SYSTEMS

- Hrabovskiy Ye.*  
Method creation of electronic catalog equipment publishing-polygraphic manufactures based on use the softener agent ..... 52
- Kopp A., Orlovskiy D.*  
An approach to business process models repository development ..... 60
- Makarova A., Ushakova I.*  
Creation of the algorithm of the selection of business partners with the methods of Data Science ..... 69
- Litvinenko M., Shylo S., Borozenets I., Mazharov V.*  
Method of representation of the surface structure of messages on the restricted natural language of the operators of automated air traffic control system ..... 75

### MATHEMATICAL MODELS AND METHODS

- Dubnitskiy V., Petrenko O., Khodyrev A.*  
Determination of confidence intervals of Kritsky-Menckel distribution parameters ..... 81

### INFOCOMMUNICATION SYSTEMS

- Proskurin N.*  
Development of optical links, micropower optocouplers and their components for interfaces digital integrated schemes ..... 88

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ

<i>Браткевич В.В.</i> Методика оптимізації зв'язей в холархических моделях оцінювання средств разработки e-learning.....	✓ 94
<i>Кириченко І.В., Шубін І.Ю.</i> Концепція пошукової системи агентного типу в системах електронного навчання.....	✓ 100
<i>Пушкар О.І., Завгородня О.С.</i> Використання карт пам'яті для структурування інформаційного простору навчальних дисциплін у e-learning.....	✓ 108

## ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА

<i>Борсуковський Ю.В., Борсуковська В.Ю., Бурячок В.Л., Складанний П.М.</i> Прикладні аспекти розробки політики категорювання інформації з обмеженим доступом.....	✓ 117
<i>Євсєєв С.П., Циганенко О.С.</i> Розробка несиметричної крипто-кодової конструкції Нідеррайтера на модифікованих еліптичних кодах.....	✓ 127
<i>Нагорнюк О.А.</i> Використання кумулянтного аналізу для розпізнавання радіосигналів цифрових телекомунікаційних систем.....	✓ 136
<i>Павлюк В.В.</i> Підходи до побудови багатоканальних програмновизначених комплексів радіоконтролю телекомунікаційних мереж.....	✓ 144

## СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

<i>Гороховатський О.В., Передрій О.О.</i> Метод пошуку подібних об'єктів на зображенні в умовах невизначеності.....	✓ 152
--	-------

## МЕТРОЛОГІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

<i>Герасимов С.В., Грідіна В.В.</i> Методика обґрунтування номенклатури параметрів контролю радіотехнічних систем і призначення їх допустимих відхилень.....	159
<i>Мокіичук В.М., Пащенко Н.В., Самойліченко О.В.</i> Показники оцінювання якості лабораторних інформаційних систем.....	165
<b>Алфавітний показчик</b> .....	172

## INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

<i>Bratkevych V.</i> Methodology of broadcasting of relations in cholarchic models of estimation of development facilities e-learning.....	94
<i>Kyrychenko I., Shubin I.</i> Agent type search system concept in electronic education systems.....	100
<i>Pushkar O., Zavgorodnia O.</i> Mind map usage for e-learning courses information space structuring.....	108

## INFORMATION SECURITY AND CYBERSECURITY

<i>Borsukovskii Y., Borsukovska V., Buriachok V., Skladannyi P.</i> Policy aspects in crypto protection of confidential information.....	117
<i>Yevseiev S., Tsyhanenko O.</i> Development of asymmetrical crypto-coded construction of Niderraiter on modified codes.....	127
<i>Nahorniuk O.</i> Use of cumulant analysis for recognition of radiosignals of digital telecommunication systems.....	136
<i>Pavliuk V.</i> Approaches to the construction of multi-channel software defined radio control system for the telecommunication networks.....	144

## SYSTEMS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

<i>Gorokhovatskyi O., Peredrii O.</i> Method for search of similar objects in an image under uncertainty.....	152
--	-----

## METROLOGY, INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

<i>Herasimov S., Gridina V.</i> Method justification nomenclature control parameters of radio systems and purpose of their permissible deviations.....	159
<i>Mokiichuk V., Pashchenko N., Samoilenko O.</i> Software quality evaluation indicators of the laboratory information systems.....	165
<b>Alphabetical index</b> .....	172

# Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 658.5.011.56

DOI: 10.30748/soi.2018.153.01

Т.Ю. Василюк<sup>1</sup>, О.О. Варфоломійєв<sup>2</sup>, В.С. Іщенко<sup>1</sup>, С.Л. Ковальчук<sup>1</sup>, О.О. Сусла<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

<sup>2</sup> Технологічний інститут, Нью Джерсі, США

## СИНТЕЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ПРУЖНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ В КІНЕМАТИЧНИХ ПЕРЕДАЧАХ

*Виконано синтез нейрорегулятора з передбаченням NN Predictive Controller для рішення задачі управління електромеханічною системою з урахуванням пружності механічних зв'язків. Наведено порядок синтезу нейрорегулятора для заданого об'єкту управління з використанням пакету прикладних програм Neural Network Toolbox системи MATLAB. Встановлено, які параметри нейрорегулятора суттєво впливають на якість регулювання і визначені оптимальні значення параметрів. Виконано моделювання нейромережевої системи. Показано, що синтезований нейрорегулятор забезпечує високі динамічні характеристики системи з пружними зв'язками в кінематичних передачах.*

**Ключові слова:** нейромережеві технології, нейромережева система управління, двомасова електромеханічна система, система з підсумовуючим підсилювачем, нейрорегулятор з передбаченням NN Predictive Controller.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Технічний прогрес, що розвивається стрімкими темпами, вимагає пошуку нових рішень в задачах управління промисловими установками. Традиційні стратегії управління, наприклад, найбільш поширені замкнені системи управління з ПІД-регуляторами, не завжди здатні забезпечити високу якість управління складними динамічними об'єктами. Одним з найбільш перспективних напрямків є застосування нейромережевих технологій в задачах управління. За останні десятиліття даний напрямок отримав значний розвиток.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Сучасні системи управління складними динамічними об'єктами повинні ефективно пристосовуватися до зміни умов функціонування за рахунок швидкого корегування параметрів і структури використовуваних законів управління. Задовольнити цим вимогам дозволяє апарат теорії адаптивного управління [1–2]. Одним з ефективних підходів до реалізації концепцій адаптивного управління є підхід, заснований на методах і засобах нейромережевого моделювання та управління [3–4]. Існуючі в даний час нейромережеві засоби дають можливість вирішувати завдання ідентифікації і управління як в ході проектування систем (зі збереженням потім незмінними отриманих алгоритмів управління), так і безпосередньо в процесі функціонування системи. Для вирішення завдань управління найбільшого поширення набули багато-

шарові мережі перцептронного типу, включаючи їх варіанти з зворотними зв'язками і з лініями затримки на входах за вхідними і вихідними сигналами [5]. Застосування динамічних варіантів методів навчання мереж розглянутого класу дає можливість створювати адаптивні системи управління, які дозволяють забезпечити ефективну експлуатацію складних систем в умовах різноманітних невизначеностей.

В даний час розроблено ряд методів нейромережевого управління, викладених в роботах [6–20]. Отримано багато прикладів успішно працюючих нейромережевих систем управління: літаком [21–23], вертольотом [24], гірничозбагачувальним процесом [25], автомобілем-роботом [26], гібридним двигуном автомобіля [26], електропідвізком [6], турбогенератором [12], зварювальним апаратом [16], пневмоциліндром [28], об'єктом спеціального призначення [29], моделлю перевернутого маятника [30] і інших.

Ці роботи наочно ілюструють ефективність застосування нейромережевих методів управління нелінійними динамічними об'єктами в складних умовах функціонування.

Застосування методу нейромережевого управління з прогнозом, який в даний час вважається найбільш ефективним, розглядається в наступних розділах на прикладі задачі управління двомасовою електромеханічною системою з урахуванням пружності механічних зв'язків.