

ISSN 2221-3805

ISSN 2221-3937

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний політехнічний університет

# **Електротехнічні та комп'ютерні системи**

## **Electrotechnic and computer systems**

### **Электротехнические и компьютерные системы**

• НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ



**27(103)**

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний політехнічний університет

# ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

- **електротехніка**
- **інформатика і обчислювальна техніка**
- **системна інженерія**
- **інновації**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ЗАСНОВАНИЙ В 1965 РОЦІ

№ 27 (103)

Астропринт  
2018

УДК 004.231.2

У журналі друкуються результати наукових досліджень, які стосуються розробки сучасних автоматизованих електромеханічних систем, проектування електромеханічних перетворювачів та електричних апаратів, мехатроніки, комп'ютерних систем та їх компонентів, інформаційних інтелектуальних систем, комп'ютерних мереж та захисту інформації в комп'ютерних системах.

У журналі знаходять відображення, також математичне моделювання та оптимізація електротехнічних та електромеханічних систем, способи керування електроприводами, що забезпечують енергозбереження, сучасні системи електропостачання промислових підприємств. Крім того, журнал публікує матеріали, пов'язані з автоматичними системами управління і системами штучного інтелекту.

Журнал розрахований на інженерів та наукових працівників, що займаються дослідженням, проектуванням та експлуатацією електротехнічних та комп'ютерних систем та їх компонентів, а також на викладачів і студентів вищих та середніх учбових закладів відповідних спеціальностей.

**Видавець** – Одеський національний політехнічний університет (ОНПУ).

Друкується за рішенням Вченої ради ОНПУ від 26.06.2018, протокол № 11.

**Головний редактор**

Маєвський Д. А. (Одеський нац. політехн. ун-т)

**Заступники головного редактора**

Шапорин Р. О., Бушер В. В. (Одеський нац. політехн. ун-т)

### **Редакційна колегія**

Абакумов В. Г. (Нац. технічний ун-т України «КПІ»), Акімов Л. В. (Нац. технічний ун-т «ХПІ»), Андрієнко П. Д. (ВАТ «Перетворювач», Запоріжжя), Антонов О. Є. (Ін-т електродинаміки НАН України), Антошук С. Г. (Одеський нац. політехн. ун-т), Вишневський Л. В. (Одеська нац. морська академія), Водічев В. А. (Одеський нац. політехн. ун-т), Дрозд О. В. (Одеський нац. політехн. ун-т), Загірняк М. В. (Кременчуцький нац. ун-т ім. М. Остроградського), Кондратенко Ю. П. (Чорноморський нац. ун-т ім. П. Могили, Миколаїв), Лебедев В. О. (Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України), Лозинський О. Ю. (Нац. ун-т «Львівська політехн.»), Машталір В. П. (Харків. нац. ун-т радіоелектроніки), Оборський Г. О. (Одеський нац. політехн. ун-т), Пересада С. М. (Нац. технічний ун-т України), Петрушин В. С. (Одеський нац. політехн. ун-т), Пуйло Г. В. (Одеський нац. політехн. ун-т), Садовой О. В. (Дніпровський держ. технічний ун-т), Саченко А. О. (Тернопільський нац. економічний ун-т), Ситніков В. С. (Одеський нац. політехн. ун-т), Стахів П. Г. (Нац. ун-т "Львівська політехніка"), Ткачов В. В. (Нац. гірничий ун-т, м. Дніпро), Харченко В. С. (Харківський нац. аерокосмічний ун-т ім. М. Е. Жуковського), Шинкаренко В. Ф. (Нац. технічний ун-т України «КПІ»).

### **Міжнародна редакційна колегія**

Антонов Петро (Технічний ун-т, Варна, Болгарія), Бардіс Ніколаос Г. (член Ради освітнього еллінської Військової академії, Афіни), Зайцева О. М. (Ун-т м. Жиліна, Словаччина), Машков В. (ун-т Я. Євангелісти Пуркіне, Чехія), Масловський Г. (Жешувський технологічний ун-т, Польща), Орловський А. (ун-т природничих наук – SGGW, Польща), Постолатій В. М. (Інститут Енергетики Академії наук Молдови (ІЕ АНМ) дійсний член Академії наук Молдови), Філіпс Кріс (ун-т Ньюкасла, Великобританія), Фіраго Б. І. (Білоруський нац. технічний ун-т, Мінськ), Хервіг Ф. (Ерфуртський ун-т прикладних наук та бізнес-систем, Німеччина).

**Відповідальний секретар** Горохолинська Г. М. (Одеський нац. політехн. ун-т)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук (Наказ МОН України № 1714 від 28.12.2017).

Статті журналу індексуються в міжнародних базах даних: *Index Copernicus International*, *Ulrich's Periodicals Directory*, *Electronic Journals Library*, "Google Scholar", *Реферативний журнал ВІНІТІ*, а також в національних базах і бібліотеках: *Загальнодержавний депозитарій «Наукова Періодика України»*, *Загальнодержавна База даних «Україніка наукова»* (реферативний журнал «Джерело»).

Рукописи статей проходять незалежне рецензування та наукове редагування. За їх результатами редакційна колегія приймає рішення про опублікування кожної статті в журналі, який виходить два-три рази на рік. Приймаються рукописи, підготовлені українською, англійською або російською мовою.

**Адреса редакційної колегії:** Україна, 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1 Одеський національний політехнічний університет.

**Телефони:** +38(048) 704-84-54, +38(093) 540-38-41, +38(099) 797-23-11

**E-mail:** eltecs.onpu@gmail.com

**Сайт:** www.etks.opu.ua

**ISSN 2221-3805 (Print)**

**ISSN 2221-3937 (Online)**

Министерство образования и науки Украины  
Одесский национальный политехнический университет

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

- **электротехника**
- **информатика и вычислительная техника**
- **системная инженерия**
- **инновации**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 1965 ГОДУ

№ 27(103)

Астропринт  
2018

УДК 004.231.2

В журнале печатаются результаты научных исследований, которые относятся к разработке современных автоматизированных электромеханических систем, проектированию электромеханических преобразователей и электрических аппаратов, механотроники, компьютерных систем и их компонентов, информационных интеллектуальных систем, компьютерных сетей и защиты информации в компьютерных системах.

В нём находят отражение также математическое моделирование и оптимизация электротехнических и электромеханических систем, способы управления электроприводами, обеспечивающие энергосбережение, современные системы электроснабжения промышленных предприятий. Кроме того, журнал публикует материалы, связанные с автоматическими системами управления и системами искусственного интеллекта.

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников, занимающихся исследованием, проектированием и эксплуатацией электротехнических и компьютерных систем и их компонентов, а также на преподавателей и студентов высших учебных заведений соответствующих специальностей.

**Издатель** – Одесский национальный политехнический университет (ОНПУ).

Печатается по решению Ученого совета ОНПУ от 26.06.2018, протокол № 11

**Главный редактор**

Маевский Д. А. (Одесский нац. политехн. ун-т)

**Заместители главного редактора**

Шапорин Р. О., Бушер В. В. (Одесский нац. политехн. ун-т)

### **Редакционная коллегия**

Абакумов В. Г. (Нац. технический ун-т Украины «КПИ»), Акимов Л. В. (Нац. технический ун-т «ХПИ»), Андриенко П. Д. (ООО НИИ «Преобразователь», Запорожье), Антонов А. Е. (Ин-т электродинамики НАН Украины), Антошук С. Г. (Одесский нац. политехн. ун-т), Вишневецкий Л. В. (Одесская нац. морская академия), Водичев В. А. (Одесский нац. политехн. ун-т), Дрозд А. В. (Одесский нац. политехн. ун-т), Загирняк М. В. (Кременчугский нац. ун-т им. М. Остроградского), Кондратенко Ю. П. (Черноморский нац. ун-т им. П. Могилы, Николаев), Лебедев В. А. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины), Лозинский О. Ю. (Нац. ун-т «Львовская политехника»), Машталир В. П. (Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники), Оборский Г. А. (Одесский нац. политехн. ун-т), Пересада С. М. (Нац. технический ун-т Украины «КПИ»), Петрушин В. С. (Одесский нац. политехн. ун-т), Пуйло Г. В. (Одесский нац. политехн. ун-т), Садовой А. В. (Днепропетровский гос. технический ун-т), Саченко А. О. (Тернопольский нац. экономический ун-т), Ситников В. С. (Одесский нац. политехн. ун-т), Стахив П. Г. (Нац. ун-т «Львовская политехника»), Ткачев В. В. (Нац. горный ун-т, Днепр), Харченко В. С. (Харьковский нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"), Шинкаренко В. Ф. (Нац. технический ун-т Украины «КПИ»)

### **Международная редакционная коллегия**

Антонов П. Ц. (Технический ун-т, Варна, Болгария), Бардис Николаос Г. (Военная академия Греции, Афины), Зайцева Е. Н. (Жилинский ун-т, Словакия), Машков В. (ун-т Я. Евангелисты Пуркине, Чехия), Масловский Г. (Жешувский технологический ун-т, Польша), Орловский А. (Варшавский ун-т естественных наук – SGGW, Польша), Постолатий В. М. (Институт Энергетики Академии наук Молдовы, действительный член Академии наук Молдовы), Филлипс Крис (ун-т Ньюкасла, Великобритания), Фираго Б. И. (Белорусский нац. технический ун-т, Минск), Хервиг Ф. (Эрфуртский ун-т прикладных наук и бизнес-систем, Германия)

**Ответственный секретарь** Горохолинская А.Н. (Одесский нац. политехн. ун-т)

Журнал включен в Перечень научных специализированных изданий, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата технических наук (Приказ МОН Украины № 1714 от 28.12.2017).

Статьи журнала индексируются в международных базах данных: Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Electronic Journals Library, "Google Scholar", Реферативный журнал ВИНТИ, а также в национальных базах и библиотеках: Общегосударственный депозитарий «Наукова Періодика України», Общегосударственная База данных «Україніка наукова» (реферативный журнал «Джерело»).

Рукописи статей проходят независимое рецензирование и научное редактирование. По их результатам редакционная коллегия принимает решение об опубликовании каждой статьи в журнале, который выходит два-три раза в год. Принимаются рукописи, подготовленные на украинском, английском или русском языке.

**Адрес редакционной коллегии:** Украина, 65044, г. Одесса, пр. Шевченко, 1, Одесский национальный политехнический университет

**Телефоны:** +38(048) 704-84-54, +38(093) 540-38-41, +38(099) 797-23-11

**E-mail:** eltecs.onpu@gmail.com

**Сайт:** www.etks.opu.ua

**ISSN 2221-3805 (Print)**

**ISSN 2221-3937 (Online)**

Ministry of Education and Science of Ukraine  
Odessa National Polytechnic University

# ELECTROTECHNIC AND COMPUTER SYSTEMS

- **Electrical Engineering**
- **Information Science and Computer Engineering**
- **System Engineering**
- **Innovations**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1965

No. 27 (103)

Astroprint  
2018

UDC 004.231.2

The results of scientist's research in a field of modern automatic electromechanical systems analysis and development, electromechanical converters and electric apparatus, mechatronics and computer systems and components, informational intelligence systems, computer networks and defense of information are published in the journal.

The journal reflects mathematic modeling and optimization of electrotechnical and electromechanic systems, ways of electric drives control allowing to saving energy, modern systems of power supply. Besides that, the materials about automatic control systems and systems of artificial intelligence are published in the journal.

The journal is designed for engineers and scientists that take part in researches, designing and exploitation of electrotechnical and computer systems and their components, and also for corresponding specialty teachers and students of high school.

**Publisher** – Odessa National Polytechnic University (ONPU)

The journal is printed according to the decision of the scientific council of ONPU 26.06.2018, № 11

**Editor-in-chief**

Maevsky D. A. (Odessa National Polytechnic University)

**Deputy Editor-in-chief**

Shaporin R. O., Busher V.V. (Odessa National Polytechnic University)

### ***Editorial Board***

Abakumov V. G. (National Technical University of Ukraine "KPI"), Akimov L. V. (National Technical University "Kharkov Polytechn. Inst."), Andrienco P. D. (OAC "Converter", Zaporozhye), Antonov A. E. (Institute of Electrodynamics, Kiev), Antoschuk S. G. (Odessa National Polytechnic University), Drozd O. V. (Odessa National Polytechnic University), Kharchenko V. S. (Kharkiv National Aerospace University named after M. E. Zhukovsky), Kondratenko Yu. P. (Black Sea National University named after Petro Mohyla, Mykolaiv), Lebedev V. A. (Institute Electrowelding Matches named after Paton NAS, Kiev), Lozynsky O. J. (National University "Lvivska Politechnica"), Mashtalir V. P. (Kharkov National University Radioelectronics), Oborskiy G. A. (Odessa National Polytechnic University), Peresada S. M. (National Technical University of Ukraine), Petrushin V. S. (Odessa National Polytechnic University), Postolati V. M. (Energy Institute of the Academy of Sciences of Moldova), Puilo G. V. (Odessa National Polytechnic University), Sadovoy A. V. (Dniprovsk State Technical University), Sachenko A. O. (Ternopol National Economic University), Stakhiv P. G. (National University "Lviv Polytechnic"), Sytnikov V. S. (Odessa National Polytechnic University), Tkachev V. V. (National Mining University, Dnipro), Shynkarenko V. F. (National Technical University of Ukraine "KPI"), Vishnevsky L. V. (Odessa National Maritime Academy), Vodichev V. A. (Odessa National Polytechnic University), Zagirnyak M. V. (Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrohradskiy).

### ***International Editorial Board***

Antonov P. (Technical University of Varna, Bulgaria), Bardis Nikolaos G. (Educational Council of Hellenic Military Academy), Zaitseva E. (University of Zilina, Slovakia), Mashkov V. (Jan Evangelista Purkyně University in Ústí nad Labem, Czech Republic), Maslowski (Rzeszow University of Technology Department, Poland), Orłowski A. (University of Life Sciences – SGGW, Poland), Postolati V. M. (Academician of the Academy of Sciences of Moldova), Phillips Chris (Agriculture & Engineering within New-castle University, United Kingdom), Firago V. I. (Belorussian National Technical University, Minsk), Herwig V. (Erfurt University of Applied Sciences and Applied Informatics, Germany).

***Responsible secretary Goroholinskaya A. N.*** (Odessa National Polytechnic University)

The Journal is included in the list of specialized scientific publications, which may be published results of theses for the degree of doctor and candidate of technical sciences (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated December 28, 2017, No. 1714).

Journal articles are indexed in international databases: Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory, Electronic Journals Library, Google Scholar, Abstract Journal of VINITI, as well as in national databases and libraries: National Depository "Scientific Periodicals of Ukraine", National Database "Ukrainka scientific" (abstract journal "Dzherelo").

Manuscripts of articles are subject to independent review and scientific editing. According to their results, the editorial board decides to publish each article in the journal, which is published two or three times a year. Manuscripts are prepared in Ukrainian, English or Russian.

***Editorial board address:*** Odessa National Polytechnic University, Shevchenko Avenue, 1, Odessa, 65044, Ukraine

**Phone:** +38(048) 704-84-54, +38(093) 540-38-41, +38(099) 797-23-11

**E-mail:** eltecs.onpu@gmail.com

**Web-site:** www.etks.opu.ua

**ISSN 2221-3805 (Print)**

**ISSN 2221-3937 (Online)**

ЗМІСТ	Стор.	CONTENTS	Page
<b>В. И. Пацук, В. П. Берзан, Г. А. Рыбакова</b> Математическая модель многопроводной электрической линии с минимальными диссипативными и дисперсионными эффектами .....	8	<b>V. I. Patsyuk, V. P. Berzan, G. A. Rybakova</b> Mathematical model of a multiwire transmission line with minimal dissipative and dispersive effects .....	8
<b>В. В. Михайленко, Ю. М. Чуняк, О. С. Чарняк</b> Математична модель перетворювача з чотиризонним регулюванням вихідної напруги і електромеханічним навантаженням .....	17	<b>V.V. Mykhailenko, Y.M. Chunya, O.S. Tcharniak</b> Mathematical model of the converter with four zones by regulation of the output voltage and electric mechanical load .....	17
<b>Д. А. Маевський, О. М. Семенюг, О. В. Яковлев, О. П. Морозов, О. О. Топузанов, Е. В. Саволова</b> Експериментальні дослідження взаємних впливів між провідниками трифазного кабелю .....	24	<b>D. A. Maevsky, A. M. Semenug, O. V. Yakovlev, O. P. Morozov, O. O. Topuzanov, E. V. Savolova</b> Experimental study of the mutual influences between the three phase cable's wires .....	24
<b>В. М. Постолатий, В. П. Берзан, Е. В. Быкова</b> Особенности работы энергосистем Молдовы, Украины и Румынии в составе объединенной энергосистемы при включении вставки постоянного тока на подстанции 400 кВ Вулканешты .....	36	<b>V. M. Postolati, V. P. Berzan, E. V. Bykova</b> Peculiarities of work of the energy systems of Moldova, Ukraine and Romania in the composition of the united energy system when btb is switched on at 400 kv substation Vulcanesti .....	36
<b>В. С. Петрушин, Ю. Р. Плоткин, Р. Н. Еноктаев, Ив Тиолье</b> Использование полевых расчетов при моделировании работы регулируемых асинхронных двигателей .....	48	<b>V. Petrushin, Y. Plotkin, R. Yenoktaiev, Yves Thiolere</b> Use of field calculations for modeling the operation of adjustable induction motors....	48
<b>В. Ф. Болюх, А. И. Кочерга, А. П. Месенко, И. С. Щукин</b> Исследование линейных импульсных электромеханических преобразователей комбинированного типа .....	55	<b>V. F. Bolyukh, A. I. Kocherga, A. P. Mesenko, I. S. Shchukin</b> Investigation of linear pulse electromechanical converters of combined type .....	55
<b>А. А. Плахтий, В. П. Нерубацкий, В. Е. Кавун, А. М. Машура</b> Компенсация высших гармоник входных токов в системах с параллельным включением автономных инверторов .....	65	<b>O. A. Plakhtii, V. P. Nerubatskyi, A. M. Kavun, A. V. Mashura</b> Compensation of input current harmonics in parallel multiple voltage source inverters ...	65
<b>Е. В. Найденко</b> Динамические нагрузки в кинематических передачах с зазором при оптимальном управлении механизмом поворота...	75	<b>E. V. Naidenko</b> Dynamic loads in kinematic transmissions with liuft at the optimum control of the mechanism of turning .....	75
<b>Л. В. Мельникова, А. І. Шестака, О. Г. Калінін</b> Енергозберігаюче керування електроприводом насоса гідравлічного крана ...	82	<b>L. V. Melnikova, A. I. Shestaka, O. G. Kalinin</b> Energy saving control of the hydraulic crane pump electric drive .....	82



	Стор.		Page
<b>В. А. Волков</b> Энергосберегающее управление в пуско-тормозных режимах частотнорегулируемым синхронным двигателем с постоянными магнитами .....	91	<b>V. A. Volkov</b> Energy-saving control in start-braking regimes by frequency-regulated permanent magnets synchronous machine .....	91
<b>В. В. Осадчий, О. С. Назарова, С. С. Шульженко</b> Ідентифікація ступеня завантаження двошвидкісного ліфта .....	103	<b>V. V. Osadchiy, O. S. Nazarova, S. S. Shulzhenko</b> Identification of the loading degree of the two-speed lift .....	103
<b>А. О. Бойко, В. В. Булгар, О. М. Бесараб, Я. О. Соколов, В. В. Зубак</b> Аналіз динамічних навантажень у пружному елементі безредукторної ліфтової лебідки .....	112	<b>A. Boyko, V. Bulgar, O. Besarab, Y. Sokolov, V. Zubak</b> Analysis of dynamic loads in the elastic element of the non-gear lift winch .....	112
<b>А. О. Дранкова, М. Й. Муха, С. С. Міхайков, І. І. Красовський</b> Підвищення якості електроенергії шляхом використання пасивної фільтрації в електромеханічних системах з нелінійним навантаженням .....	118	<b>A. Drankova, M. Mukha, S. Mikhaykov, I. Krasovskyi</b> Methods to improve the quality of electrical supply of ship system with nonlinear load.....	118
<b>А. В. Войтенко, П. І. Алифиренко</b> Блок питания с однофазным корректором коэффициента мощности для электроприводов постоянного и переменного тока.....	125	<b>V. A. Voytenko, P. I. Alifirenko</b> Power supply unit with a single-phase corrector of a power factor for electric drives of constant and alternate action .....	125
<b>В. П. Розен, С. С. Великий, Г. І. Сторожилова</b> Управління режимом роботи водовідливної насосної установки гірничовидобувного підприємства за критерієм плати за електричну енергію .....	136	<b>V. Rozen, S. Velykyi, G. Storozhylova</b> Management of the work mode of the dewatering pump station of mining enterprise by the criterion of costs on the electric energy .....	136
<b>И. В. Халамиренко</b> Регулирование коэффициента мощности асинхронного тиристорного электропривода .....	144	<b>I. V. Khalamirenko</b> Regulation of the power factor for the asynchronous tiristive electric drive .....	144
<b>В. П. Розен, А. В. Чермалых, А. С. Бычковский</b> Прогнозирование среднемесячной скорости ветра с использованием байесовского подхода к прогнозированию .....	151	<b>V. Rosen, A. Chermalykh, A. Buchkivskii</b> Forecasting the average monthly wind speed with the use of the bayes approach to forecasting .....	151
<b>С. П. Савич, В. Я. Ярмолович, В. В. Орлик, Е. В. Савьолова</b> Енергетичні показники електроприводів кранових механізмів підйому .....	157	<b>S. P. Savich, V. Ya. Yarmolovich, V.V. Orlik, E. V. Savolova</b> Energy indicators of electric drive of crane lifting mechanisms .....	157
<b>Т. О. Говорущенко, О. О. Павлова</b> Сучасні проблеми оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення .....	165	<b>T. O. Hovorushchenko, O. O. Pavlova</b> Current problems of evaluating the initial stages of the software lifecycle.....	165
<b>С. Ю. Коротунов, Г. В. Табунщик, К. Вольфф</b> Аналіз існуючих архітектур та методів моделювання кіберфізичних систем для розумних енергомереж .....	176	<b>S. Korotunov, G. Tabunshchyk, C. Wolff</b> Analysis of the existing architectures and modeling methods of the cyber-physical systems for smart grids .....	176

	Стор.		Page
<b>К. Ю. Дергачев, Л. А. Краснов, И. А. Пявка</b> Анализ работы алгоритмов технического зрения в задачах траекторных измерений .....	187	<b>K. Yu. Dergachov, L. O. Krasnov, I. O. Piavka</b> Analysis of work of technical vision algorithms in the tasks of trajectory measurements .....	187
<b>О. І. Захожай</b> Критерії визначення інформативності та ранжування образів при прийнятті рішень в багато параметричних комбінованих системах розпізнавання ...	196	<b>O. I. Zakhzhay</b> Criteria for the determination of informativity and patterns ranking for making decisions in multi-parametric combined recognition systems .....	196
<b>І. М. Журавська</b> Бездротовий метод керування відключенням пристроїв на борту БПЛА з обмеженими енергоресурсами .....	205	<b>I. M. Zhuravska</b> Wireless method for control unplug of devices on board uavs with limited energy resources .....	205
<b>Р. С. Чопей, Д. В. Федасюк</b> Метод побудови засобу для автоматизованого тестування тривалості виконання програмного коду вбудованих систем розроблених з використанням keil uvision	213	<b>R. S. Chohey, D. V. Fedasyuk</b> The method of construction of the means for execution time testing the embedded systems that are developed in keil uvision	213
<b>D. E. H. Noutsawo</b> Optimizing an african network: case of vipnet .....	220	<b>D. E. H. Noutsawo</b> Optimizing an african network: case of vipnet.....	220
<b>Rodrigue Elias, Valerii Hlukhov, Mohammed Rahma, Ivan Zholubak</b> FPGA cores for fast multiplicative inverse calculation in galois fields .....	227	<b>Rodrigue Elias, Valerii Hlukhov, Mohammed Rahma, Ivan Zholubak</b> FPGA cores for fast multiplicative inverse calculation in galois fields .....	227
<b>G. Vostrov, A. Khrinenko</b> Pseudorandom processes of the number sequence generation .....	234	<b>G. Vostrov, A. Khrinenko</b> Pseudorandom processes of the number sequence generation.....	234
<b>G. Vostrov, Yu. Bezrukova</b> Analysis and development of existing algorithms for solving the discrete logarithm problem .....	242	<b>G. Vostrov, Yu. Bezrukova</b> Analysis and development of existing algorithms for solving the discrete logarithm problem .....	242
<b>A. Melahi, B. Bendahmane, B. Yahiaoui</b> Robust neuro-fuzzy control of high dynamics motors for surface potential cartography .....	248	<b>A. Melahi, B. Bendahmane, B. Yahiaoui</b> Robust neuro-fuzzy control of high dynamics motors for surface potential cartography .....	248
<b>V. В. Бушер</b> Дробные пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы в электротехнических системах .....	258	<b>V. Buser</b> Fractional proportional-integral-differentiating regulators in electrotechnic systems .....	258
<b>В. П. Мигаль, Г. В. Мигаль</b> Аналіз життєздатності університету як складної динамічної системи .....	264	<b>V. P. Mygal, G. V. Mygal</b> Analysis of the university's viability as complex dynamic system .....	264
<b>Е. Ю. Маевская, А. А. Топузанов, В. Л. Беляев, С. Н. Огинская, Н. М. Лещенко, В. Я. Ярмолович</b> Лабораторный практикум по курсу «специальные методы и средства электрических измерений» в контексте ERASMUS + проекта «ALIOT» .....	273	<b>E. J. Maevskaya, O. O. Topuzanov, V. L. Biliaiev, S. N. Oginskaya, N. M. Leshchenko, V. Ya. Yarmolovich</b> Laboratory practice at the course "special methods and means of electrical measurements" in the context of ERASMUS + ALIOT project .....	273
<b>В. С. Попукайло</b> Анализ и прогнозирование оттока клиентов системы управления проектами .....	280	<b>V. S. Popukaylo</b> Analysis and churn prediction Of the project management system .....	280

## КРИТЕРІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ТА РАНЖУВАННЯ ОБРАЗІВ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ В БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ

О. І. Захожай

*Донбаський державний технічний університет*

**Анотація.** Розглянуте питання розробки критеріїв інформативності та ранжування образів при прийнятті рішень у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів. Запропоновані критерії дозволяють у будь-який момент життєвого циклу системи здійснювати селекцію інформативних образів з метою забезпечення високого рівня достовірності розпізнавання. Запропонований підхід двоетапного ранжування інформативних образів об'єкту розпізнавання з метою визначення подальшої стратегії їхнього аналізу та прийняття рішень.

**Ключові слова:** багатопараметричні комбіновані системи розпізнавання образів, інформативність образів і ознак, апріорний аналіз образів, апостеріорний аналіз образів, стаціонарні та нестаціонарні викривлення відображення об'єкту розпізнавання у просторі ознак.

### Вступ

Апарат розпізнавання образів знаходить все більше використання в різноманітних системах автоматизованої обробки інформації і управління [1, 2]. Це пов'язано, насамперед, з тим, що використання методико-алгоритмічних підходів розпізнавання образів дає низку переваг у випадку аналізу і управління складними, багатокомпонентними комплексами та системами, в тому числі з високим рівнем топологічного розгалуження [2]. Серед таких переваг можна відокремити:

- відсутність необхідності створення повної математичної моделі складних об'єктів управління, особливо в умовах, коли така задача не піддається простому рішенню або взагалі не може бути вирішена;
- зручність реалізації концепції управління за станом системи;
- можливість прийняття ефективних управлінських рішень в умовах часткової невизначеності.

Все це сприяє широкому розповсюдженню систем розпізнавання для різноманітних застосувань у різних сферах діяльності. Спектр цих охоплює як технічні та технологічні системи, так і географічні, геологічні, економічні, геополітичні тощо.

Одним з пріоритетних напрямків вдосконалення систем розпізнавання образів є розробка теоретичних та методологічних основ створення гнучких, універсальних систем розпізнавання, для здійснення класифікації та прийняття управ-

лінських рішень з високим рівнем достовірності [1-5]. При цьому, належна увага приділяється зменшенню часової складності процесу розпізнавання, що підвищує оперативність прийняття управлінських рішень.

Однією з перспективних концепцій побудови систем розпізнавання є концепція комбінованих систем розпізнавання образів, що була запропонована Ю.І. Журавльовим [6]. Перевага такого підходу полягає в тому, що в комбінованих системах розпізнавання образів опис об'єктів розпізнавання комбінується з ознак різного характеру інформації (детерміновані, імовірнісні, логічні або структурні). В цьому випадку створюється достатньо широка та універсальна база для опису будь-яких об'єктів розпізнавання для різноманітних умов їхнього спостереження. Однак, як показує практика, використання такої концепції не забезпечує високого рівня достовірності розпізнавання за умов динамічної зміни умов спостереження та характеристик самих об'єктів. До того ж, такий підхід не забезпечує значного збільшення кількості інформативних ознак об'єкта розпізнавання, що слабо корелюють між собою. В цьому випадку, виникнення будь-якої завади однаково призводить до викривлення пов'язаних між собою інформативних ознак об'єкта розпізнавання, що значно ускладнює отримання достовірного результату класифікації. З іншого боку, використання інформативних ознак, що слабо корелюють між собою, призводить до того, що визначена завада не буде однаково впливати на всю сукупність інформативних ознак, що дозволить або ідентифікувати та виділити заваду, або викривлені інформативні ознаки усунути від аналізу. В цьому випадку, у

будь-який момент життєвого циклу системи процес розпізнавання буде спиратися на сукупність найбільш інформативних ознак (з найменшим ступенем викривлення та неоднозначності), що дозволить забезпечити високий рівень достовірності отримання результату класифікації.

Для вирішення вказаних вище обмежень відома концепція побудови багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів [7-10], яка передбачає формування  $k$  ( $k > 1$ ) інформаційних каналів за якими отримується  $k$  інформаційних образів об'єкта розпізнавання, причому ознаки комбінуються не за різним характером інформації, а за різною природою виникнення. Таким чином, забезпечується більша незалежність ознак, а також різний рівень впливу на них завдань різного характеру. При цьому, значно збільшується розмірність інформаційного поля аналізу ознак та прийняття рішень, що збільшує достовірність класифікації та прийняття управлінських рішень.

Однак, з іншого боку, збільшення кількості інформаційних ознак об'єкта розпізнавання збільшує часову складність процесу їхнього аналізу, що значно зменшує оперативність прийняття управлінських рішень [2]. Такий аспект є негативним для систем автоматизованої обробки інформації і управління, в особливості, для систем реального часу. Це пов'язано з тим, що для таких систем, отримання достовірної інформації але з великими затримками у часі призводить до втрати її актуальності. Прийняття ж рішення на основі достовірної але неактуальної інформації, фактично, надає недостовірний результат, що нівелює практичну доцільність використання такої системи.

Таким чином, дослідження та розробка методики забезпечення достовірності розпізнавання за мінімальних втрат машинного часу є актуальною науково-технічною задачею.

#### Аналіз питання та постановка завдання

Достовірність розпізнавання залежить від багатьох аспектів з яких можна виділити наступні основні:

- досконалість та адаптивність структурно-алгоритмічної бази систем розпізнавання образів;
- точність відтворення об'єктів розпізнавання у просторі ознак;
- наявність та рівень завдань, що мають місце при спостереженні за об'єктом розпізнавання.

Перший аспект представляє собою комплекс рішень, що повинні реалізовуватися у кожному окремому випадку і будь-які загальні підходи тут не можуть мати місце. Специфіка призначення та

функціонування систем розпізнавання значно впливає на процес синтезу їх структурно-алгоритмічної бази.

Точність відтворення об'єктів розпізнавання напряму залежить від досконалості та точності технічних засобів реєстрації характеристик об'єктів розпізнавання. Очевидно, що використання більш точних засобів реєстрації (використання засобів реєстрації з меншим рівнем викривлень та помилок) дозволяє отримувати класифікацію та формування управлінських рішень з більшим ступенем достовірності.

Рівень та різновид завдань є одним з основних аспектів, що впливає на достовірність розпізнавання. Таким чином, для прийняття достовірного рішення у будь-який момент часу інформативні ознаки, що аналізуються, повинні бути інваріантні до впливу завдань або цей вплив повинен компенсуватися. При цьому, рівень завдань та ступінь їхнього впливу може бути використаний в якості непрямой оцінки достовірності розпізнавання.

Використання багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів, де використовується сукупність образів різної природи виникнення, дозволяє розширити інформаційний простір аналізу даних образами різної природи виникнення, для яких різноманітні завдання мають різний вплив. Методика визначення впливу завдань при розпізнаванні запропонована у [11]. Згідно цієї методики, викривлення відображення об'єкта розпізнавання у просторі образів враховується введенням функції  $h(x', y', x, y)$ , яка описує просторовий зв'язок між об'єктом та його відображенням ( $x, y$  – символізують характеристики об'єкта розпізнавання, а  $x', y'$  – їхні відповідні відображення у просторі ознак). Якщо враховувати, що перенесення інформації здійснюється від точених джерел. Тоді зображення для точки простору об'єкту з координатами  $(\alpha, \beta)$  буде визначатися як [12]

$$g'(x', y') = h(x', y', \alpha, \beta, f'(\alpha, \beta)). \quad (1)$$

У вираженні (1) залежність розподілу відображення від рівня сигналу від точкового джерела враховується додатковим функціональним аргументом  $f'(\alpha, \beta)$ . Очевидно, що для іншого точкового джерела, який має таке ж саме розміщення

$$g''(x', y') = h(x', y', \alpha, \beta, f''(\alpha, \beta)). \quad (2)$$

У відповідності до принципу суперпозиції отримані характеристики складаються

$$g'(x', y') + g''(x', y') = h(x', y', \alpha, \beta, f'(\alpha, \beta)) + h(x', y', \alpha, \beta, f''(\alpha, \beta)). \quad (3)$$

Як витікає з (3), за рахунок нелінійної суперпозиції, сумі розподілів у просторі відображення не відповідає сума функцій у просторі об'єкта.

У випадку лінійності системи

$$g'(x', y') = h(x', y', \alpha, \beta) f(\alpha, \beta), \quad (4)$$

а суперпозиція буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} g'(x', y') + g''(x', y') = \\ = h(x', y', \alpha, \beta) [f'(\alpha, \beta) + f''(\alpha, \beta)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином, у випадку лінійності системи, складання функцій у просторі об'єкта приводить до складання розподілів у просторі відображення з точністю до однієї функції перетворення  $h$ .

В загальному випадку, для нелінійної системи співвідношення зв'язку простору об'єкта і простору зображення буде мати наступний вигляд:

$$g(x', y') = \iint_{x \in X, y \in Y} h(x', y', f(x, y)) dx dy, \quad (6)$$

а для лінійної

$$g(x', y') = \iint_{x \in X, y \in Y} h(x', y') f(x, y) dx dy. \quad (7)$$

Якщо значення  $x$  і  $y$  не корелюють друг з другом, вигляд функції  $h$  буде мати наступний вигляд:

$$h(x', y', x, y) = h'(x', x) h(y', y). \quad (8)$$

Функція  $h$  враховує викривлення відображення об'єкта на просторі образу, а отримане відображення може бути представлено так:

$$\begin{aligned} g(x', y') = \\ = \iint_{x \in X, y \in Y} h(x', y', x, y) f(x, y) dx dy + \xi(x', y'), \end{aligned} \quad (9)$$

де  $\xi(x', y')$  – характеристика розподілу завад при відображенні об'єкта у просторі образу.

Представлена методика дозволяє оцінити рівень викривлень і завад при відображенні характеристик розпізнавання у просторі ознак, однак для використання такого підходу в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів необхідне вирішення задачі визначення критеріїв інформативності образів. В цьому випадку, у будь який момент життєвого циклу системи автоматизованої обробки інформації і управління, з урахуванням поточних умов спостереження та рівня завад, буде можливість здійснення селекції найбільш інформативних образів [12] для прийняття достовірних управлінських рішень.

Відповідно до вищезазначеного, для зменшення часової складності процесу класифікації у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів необхідна розробка критеріїв визначення інформативності образів, для усунення з аналізу найменш інформативних або зовсім неінформативних. При цьому, значний вплив на інформативність того чи іншого образу має поточний рівень завад та викривлень відображення ознак. Додатковою задачею, направленою на зменшення часової складності, є визначення пріоритету інформативних образів при аналізі та класифікації. З цією метою доцільне визначення методики ранжування образів за критеріями інформативності для визначення раціональної послідовності їхнього аналізу.

### Рішення задачі

Для побудови критеріїв інформативності та ранжування образів пропонується використати рівень завад та викривлень відображення характеристик об'єкту розпізнавання у просторі образів, з погляду на те, що вже зазначалося раніше – рівень завад та викривлень є непрямою оцінкою достовірності прийняття рішень. Таким чином, критерії інформативності повинні давати можливість визначати образи об'єктів розпізнавання з мінімальними рівнями завад і викривлень.

Аналіз (9) вказує, що мінімізація викривлень і завад можлива у двох напрямках:

- мінімізація функції викривлення відображення об'єкта розпізнавання у просторі ознак  $h(x', y', x, y)$ ;
- мінімізація характеристики розподілу завад при відображенні об'єкта у просторі образу  $\xi(x', y')$ .

При цьому, викривлення  $h$ , зумовлені недосконалістю системи відображення характеристик об'єкта розпізнавання та носять стаціонарний характер, а характеристика  $\xi$  – нестаціонарна, так як спостерігається апостеріорно.

У випадку нестаціонарності викривлень, коли їх прояв не постійний у часі, можливе використання серії послідовних замірів, після чого статистична обробка отриманих даних дозволяє виключити вплив завади. Такий підхід розглянутий у [13] для аналізу зображення, що представляється послідовністю відеокадрів. Аналіз послідовності декількох кадрів зображення дозволяє виділити графічні елементи, що не проявляються на кожному з них, а відповідно, ідентифікуються в системі як завада.

У випадку стаціонарності викривлень задача істотно ускладнюється. Однак, використання багатопараметричних комбінованих систем розпі-

знавання образів дозволяє спростити цю задачу, так як використання декількох інформаційних потоків та формування сукупності образів, що мають різну природу виникнення, підвищує кількість незалежних ознак об'єктів, що не корелюють, або слабо корелюють між собою [7, 8].

Так у випадку багатопараметричної комбінованої системи розпізнавання образів рішення задачі підвищення достовірності формування управлінських рішень може здійснюватися у обидвох розглянутих вище випадках. На підставі (9), багатопараметрична комбінована система розпізнавання образів може бути представлена у вигляді

$$\left\{ \begin{aligned} P_1 &= g_1(x', y') = \\ &= \iint_{x \in X, y \in Y} h_1(x', y', x, y) f_1(x, y) dx dy + \xi_1(x', y'), \\ P_2 &= g_2(x', y') = \\ &= \iint_{x \in X, y \in Y} h_2(x', y', x, y) f_2(x, y) dx dy + \xi_2(x', y'), \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ P_k &= g_k(x', y') = \\ &= \iint_{x \in X, y \in Y} h_k(x', y', x, y) f_k(x, y) dx dy + \xi_k(x', y'). \end{aligned} \right. \quad (10)$$

В цьому випадку, точність відображення об'єкту розпізнавання за кожним з  $k$  образів визначається величиною відповідних складових функцій  $h_1-h_k$  і  $\xi_1-\xi_k$ .

Характеристики  $h_1-h_k$  є, безпосередньо, характеристиками засобів відображення інформації. Таким чином, для системи автоматизованої обробки інформації і управління з незмінною структурою (в тому числі незмінними пристроями реєстрації характеристик об'єкта управління) ця сукупність характеристик є постійною протягом усього життєвого циклу системи. Ці складові є стаціонарними та інформація про них повинна апріорно вноситися до системи на основі експертної оцінки, у відповідності до характеристик і складу апаратно-програмного комплексу систем автоматизованої обробки інформації і управління. Таким чином, в якості характеристики визначення стаціонарної інформативності кожного з  $k$  образів пропонується використання характеристик  $h$ . Ця характеристика  $SICH_k$  для кожного з  $k$  образів визначається як

$$SICH_k \sim \frac{1}{h_k(x', y', x, y)}. \quad (11)$$

Характеристики завод  $\xi_1-\xi_k$  змінюються впродовж життєвого циклу системи в залежності від змін умов спостереження. Ця сукупність є

нестационарною та вимагає постійного контролю на кожному циклі формування управлінського рішення. Тоді, за аналогією зі стационарною характеристикою інформативності, може бути визначена нестационарна характеристика інформативності кожного з  $k$  образів  $NSICH_k$

$$NSICH_k \sim \frac{1}{\xi_k(x', y')}. \quad (12)$$

Загальна характеристика інформативності може бути представлена у вигляді

$$ICH_k \sim SICH_k + NSICH_k. \quad (13)$$

Для фактичного визначення чисельних значень стаціонарних та нестационарних характеристик інформативності образів у кожному конкретному застосуванні в системі необхідно провести нормування характеристик  $SICH_k$  і  $NSICH_k$ .

На підставі системи (10) і враховуючи залежність (13) можна зробити висновок, що у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання для кожного образа, відповідно до запропонованої методики, може бути визначені характеристики  $SICH_k$  і  $NSICH_k$ .

Враховуючи різну природу образів об'єкту, що отримуються різними відображаючими системами, на підставі статистичного аналізу з'являється можливість ідентифікації заводи за окремими каналами.

Крім цього, аналіз значень характеристик  $\xi$  для кожного каналу дозволяє визначити ті образи, що, за поточних умов виміру, не дозволяють адекватно відобразити об'єкт розпізнавання. Для підвищення достовірності розпізнавання такі образи підлягають усуненню від аналізу. Особливе значення, в цьому випадку, має використання таких інформаційних каналів отримання образів об'єкту, для яких характеристики  $\xi$  мають малу коваріацію.

Відповідно до запропонованої методики, може бути здійснене ранжування образів за характеристикою інформативності. Тобто, у будь-який момент життєвого циклу системи автоматизованої обробки інформації і управління, найбільш інформативні образи мати максимум характеристики. Тоді, найбільш достовірне прийняття управлінського рішення  $Rd$  можливе за результатом аналізу образу, що задовольняє наступному критерію інформативності

$$\exists P_k \in \{P\}, \max ICH_k \Rightarrow Rd. \quad (14)$$

Для організації автоматизованої обробки інформації в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів пропонується здійснення ранжування образів за ознакою інфо-

рмативності. При цьому, ранжування здійснюється у два етапи:

- 1) апіорне ранжування інформативних образів;
- 2) апостеріорне ранжування інформативних образів.

Відповідно до специфіки функціонування системи автоматизованої обробки інформації і управління, на етапі її синтезу здійснюється апіорне ранжування множини  $k$  образів  $\{P\}$  за рівнем інформативності. З цією метою, на основі експертної оцінки, необхідне визначення мінімально припустимого рівня стаціонарної характеристики інформативності  $SICH^*$ . За запропонованою вище методикою, визначаються стаціонарні характеристики інформативності для кожного з  $k$  образів ( $SICH_1-SICH_k$ ). Надалі, з множини  $\{P\}$  виділяють підмножину  $\{P'\}$  інформативних образів, за критерієм

$$\forall P_k \in \{P'\} \left\{ \begin{array}{l} \{P'\} \subset \{P\}, \\ SICH_k \geq SICH^* \end{array} \right. \quad (15)$$

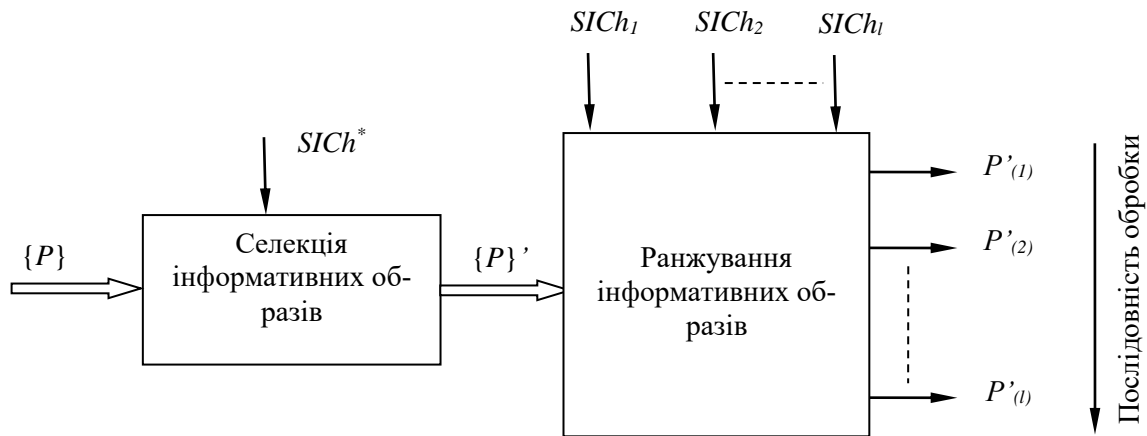


Рис. 1. Апіорне ранжування інформативних образів

Згідно рис. 1, множина інформаційних образів багатопараметричної комбінованої системи розпізнавання образів підлягає попередньої селекції за критерієм (15) та у відповідності до заданого мінімального рівня стаціонарної характеристики інформативності  $SICH^*$ . В результаті селекції, з сукупності  $k$  інформаційних образів множини  $\{P\}$  визначаються  $l$  інформативних образів, що складають множину  $\{P'\}$ . При цьому очевидно, що  $l < k$  і  $\{P'\} \subset \{P\}$ . В подальшому,  $l$  інформативних образів множини  $\{P'\}$  піддаються ранжуванню в порядку зменшення їхніх стаціонарних характеристик інформативності. В результаті отримується послідовність обробки  $l$  інформативних образів множини  $\{P'\}$  ( $P'(1)-P'(l)$ ), в якій  $P'(1)$  – має максимальний пріоритет (відповідно, максимальну достовірність відображення об'єкту

В результаті чого, визначається сукупність найбільш інформативних образів, за якими здійснюється подальша обробка та прийняття управлінських рішень. Така селекція зменшує розмірність інформаційного поля аналізу та зменшує часову складність процесу прийняття рішень.

Подальший пріоритет в обробці інформативних образів доцільно визначати на основі ранжування образів множини  $\{P'\}$  за значеннями їхніх стаціонарних характеристик інформативності ( $SICH_1-SICH_l$ ). Таким чином, пріоритет обробки ознак інформативних образів буде зменшуватися відповідно до зменшення їхніх стаціонарних характеристик інформативності. В цьому випадку, пріоритет обробки та прийняття рішень буде накладатися на найбільш інформативні образи. Функція менш інформативних образів полягає в уточненні результату класифікації та прийняття рішень. Визначення ранжованої послідовності образів проілюстроване на рис. 1.

розпізнавання у просторі образів), а  $P'(l)$  – мінімальний пріоритет та, відповідно, мінімальну достовірність відображення об'єкта розпізнавання у просторі образів.

Етап апостеріорного ранжування інформативних образів проілюстрований на рис. 2 та полягає у визначенні ступеня достовірності класифікації за кожним з попередньо ранжованих інформативних образів ( $P'(1)-P'(l)$ ).

Згідно рис. 2, у послідовності, визначеної на етапі апіорного ранжування, інформативні образи  $P'(1)-P'(l)$  надають для класифікації. За кожним з них визначається його відповідність одному з класів, наявної сукупності  $C_1-C_l$ . Після цього, здійснюється апостеріорне ранжування образів у відповідності до відповідних ним значень нестационарних характеристик інформативності

$NSICH_1$ - $NSICH_l$ . В результаті такого ранжування отримується послідовність образів у порядку зменшення нестационарної характеристики інформативності (отже і у порядку збільшення рівня завад відповідного інформаційного каналу). Як вже вказувалося вище, ця інформація може бути використана для повторення виміру характеристик об'єкта за окремими каналами для виключення нестационарних перешкод, або повного виключення з процедури прийняття рішення образів, що мають високий рівень завад.

Остаточне прийняття управлінського рішення може бути здійснено у відповідності до (14) з урахуванням класифікації за образом, що має максимальну характеристику  $ICH$ . Крім цього, запропонований підхід дозволяє реалізувати зважене голосування між класифікаціями образів, що мають значення характеристик інформативності не менше ніж апіорно задане.

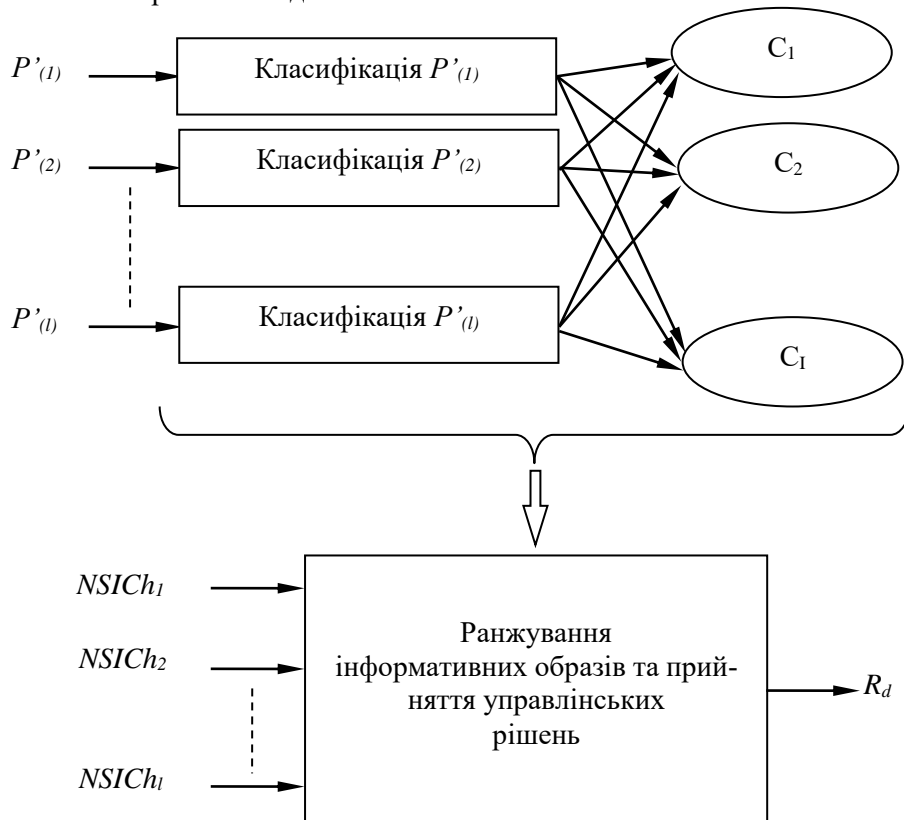


Рис. 2. Апостеріорне ранжування інформативних образів та прийняття управлінських рішень

Запропоновані критерії визначення інформативності та ранжування образів було використано для побудови системи аналізу просторового розподілу температури коксового пирога [9] та системи автоматизованої обробки даних у багатоканальних системах ультразвукового вимірювання [14]. Для обох систем було зафіксовано прискорення процесу отримання результату. Так, в системі ультразвукового вимірювання для статистичної достовірності виміру лінійної відстані 0,96 було отримано зниження на 11% часової складності отримання результату.

### Висновки

Основні результати, представлені у статті, полягають у наступному.

1. Для зменшення часової складності аналізу даних та прийняття рішень у багатопарамет-

ричних комбінованих системах розпізнавання образів доцільне здійснення селекції образів за поточним рівнем інформативності та подальше їх ранжування з метою визначення раціональної послідовності аналізу при класифікації.

2. В якості основи для визначення критеріїв інформативності у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів запропоновано використання рівнів завад та викривлень відображення характеристик об'єкта розпізнавання у просторі ознак.

3. Запропоноване використання характеристики інформативності образів об'єкта розпізнавання, що складається з двох складових – стаціонарної та нестационарної.

4. Запропонована методика визначення стаціонарних та нестационарних характеристик інформативності образів об'єкта розпізнавання.



5. Розроблені критерії визначення інформативності образів, що дозволяють у будь-який момент життєвого циклу системи автоматизованої обробки інформації і управління здійснити селекцію інформативних образів та їх ранжування для визначення подальшої послідовності обробки та прийняття управлінських рішень.

6. З метою зменшення часової складності попередньої обробки ознак у багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання образів запропонована декомпозиція процесу ранжування образів, що підлягає реалізації у два етапи: апріорне та апостеріорне ранжування.

В плані подальшого напрямку дослідження, є доцільним адаптація існуючих та розробка нових методів автоматизованої обробки інформації і управління на базі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів, в яких буде реалізована концепція селекції образів за характеристиками інформативності.

### Список використаної літератури

1. Симанков, В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография [Текст] / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.

2. Захожай, О. І. Інформаційна технологія розпізнавання образів в задачах автоматизованої обробки інформації й управління складними системами [Текст] / О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – 2013. – № 01 (013). – С. 61–68.

3. Berger, M. A new parametric family of fuzzy connectives and their application to fuzzy control [Text] / M. Berger // Fuzzy Sets Systems. – 1998. – vol. 93. – pp. 1–16.

4. Dubois, D. Checking the coherence and redundancy of fuzzy knowledge bases [Text] / D. Dubois, H. Prade, L. Ughetto // IEEE Trans. on Fuzzy Systems. – 1997. – pp. 398–417.

5. Иванов, Г. Е. Моделирование процессов обработки информации и управления [Текст] / Г. Е. Иванов. – М.: МФТИ, 1990. – 158 с.

6. Журавлев, Ю. И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. [Текст] / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М.: Фазис, 2005. – 159 с.

7. Рябенський, В. М. Комбіновані системи розпізнавання образів [Текст] / В. М. Рябенський, О. І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – 2011. – № 1(009). – С. 152–157.

8. Захожай, О. І. Основні аспекти структурної організації комбінованих систем розпізна-

вання образів [Текст] / О. І. Захожай, Ю. Е. Паєранд // Вісник Херсонського національного технологічного університету. – 2012. – № 1(44). – С. 221–225.

9. Меньяйленко, О. С. Комбіновані системи розпізнавання образів при аналізі просторового розподілу температури коксового пирога [Текст] / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай // Журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – 2013. – № 12(88). – С. 147–154.

10. Патент 90109 Україна, МПК (2014.01) G06/00. Пристрій розпізнавання образів / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай (Україна). – опубл. 12.05.2014, бюл. № 9.

11. Захожай, О. І. Підвищення достовірності розпізнавання об'єктів за умови наявності викривлень їхнього відображення у просторі образів [Текст] / О. І. Захожай // Вісник Херсонського національного технологічного університету. – 2013. № 1 (46). – С. 144–148.

12. Захожай, О. І. Селекція раціональної сукупності образів в комбінованих системах розпізнавання [Текст] / О. І. Захожай // Журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – 2013. – № 09 (85). – С. 186–192.

13. Захожай, О. И. Определение проективной структуры и движения по бинокулярным соответствиям в системах технического зрения [Текст] / О. И. Захожай // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2007. – Вып. 25. – С. 243–249.

14. Меньяйленко, О. С. Інформаційна технологія автоматизованої обробки даних в багатоканальних системах ультразвукового вимірювання [Текст] / О. С. Меньяйленко, О. І. Захожай // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2014. – № 6 (98). – С. 62–67.

### References

1. Simankov, V. S., Lutsenko, E. V., (1999), “Adaptive management of complex systems based on the theory of pattern recognition: Monography” [Adaptivnoe upravlenie slozhnymi sistemami na osnove teorii raspoznavaniya obrazov: Monografiya], Techn. univ. Kuban state technol. univ., Krasnodar, 318 p.

2. Zakhzhay, O. I., (2013), “Information technology of patterns recognition in tasks of automation information processing and complex systems controlling. Problems of information technologies [Informatsiina tekhnolohiia rozpoznavannia obraziv v zadachakh avtomatyzovanoi obrobky informatsii y upravlinnia skladnyu systemamy. Problemy informatsiinykh tekhnolohii], vol. 01(013), pp. 61–68.

3. Berger, M., (1998), A new parametric family of fuzzy connectives and their application to fuzzy control. *Fuzzy Sets Syst*, vol. 93, pp. 1–16.
4. Dubois, D., Prade, H., Ughetto L., (1997), Checking the coherence and redundancy of fuzzy knowledge bases. *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, pp. 398–417.
5. Ivanov, G. E., (1990), Modelling of information processing and controlling [Modelirovanie processov obrabotki informacii i upravleniya], MFTI, Moscow, 158 p.
6. Zhuravlev, Yu. I., Ryazanov, V. V., Senko, O. V., (2005), Recognition. Mathematical methods. Programm System. Practical using [Metematicheskie metody. Programmnaya sistema. Practicheskie primeneniya], Phazis, Moscow, 159 p.
7. Ryabenkyi, V. M., Zakhzhay, O. I., (2011), Combined systems of patterns recognition. Problems of information technologies [Kombinovani systemy rozpoznavannya obraziv. Problemy informatsiinykh tekhnologii], vol. 1(009), pp. 152–157.
8. Zakhzhay, O. I., Paerand, Yu. E., (2012), Basic aspects of structure organization of combined systems of patterns recognition. Bulletin of Kherson national technological university [Osnovni aspekty struktornoj orhanizatsii kombinovanykh system rozpoznavannya obraziv. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnolohichnoho universytetu], vol. 1(44), pp. 221–225.
9. Menyaylenko, O. S., Zakhzhay, O. I., (2013), The Combined systems of patterns recognition in monitoring temperature's spatial distribution for coke pie. *Electrotechnical and computer systems [Kombinovani systemy rozpoznavannya obraziv pry analizi prostorovoho rozpodilu temperatury koksovoho pyroha. Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy]*, vol. 12(88), pp. 147–154.
10. Menyaylenko, O. S., Zakhzhay, O. I., Patent of Ukraine 90109 IPC (2014.01) G06/00 publ. 12.05.2014, bull. № 9.
11. Zakhzhay, O. I., (2013), Increasing of object's recognition authenticity for condition of their reflection distortions presence in patterns space. *Bulletin of Kherson national technological university [Pidvyshchennia dostovirnosti rozpoznavannya ob'ektiv za umovy naiavnosti vykryvlen yikhnoho vidobrazhennia u prostori obraziv. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnolohichnoho universytetu]*, vol. 1 (46), pp. 144–148.
12. Zakhzhay, O. I., (2013), The rational aggregate selection of informative patterns in the combined recognition systems. *Electrotechnical and computer systems [Seleksiia ratsionalnoi sukupnosti obraziv v kombinovanykh systemakh rozpoznavannya. Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy]*, vol. 09 (85), pp. 186–192.
13. Zakhzhay, O. I., (2007), Definition of a projective structure and motion according to binocular correspondences in systems of technical vision. *Bulletin of Donbass state technical university [Opredelenye proektyvnoi struktury y dvyzheniya po bynokulyarnym sootvetstviyam v systemakh tekhnicheskoho zreniya. Sbornik nauchnykh trudov Donbasskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho universiteta.]*. vol. 25, pp. 243–249.
14. Menyaylenko, O. S., Zakhzhay, O. I., (2014), The information technology of automated data processing in the multi-channel ultrasonic measurement systems. *Research bulletin of National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute" [Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoi obrobky danykh v bahatokanalnykh systemakh ultrazvukovoho vymiriuvannya. Naukovi visti Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichniy instytut]*, vol. 6 (98), pp. 62–67.

## CRITERIA FOR THE DETERMINATION OF INFORMATIVITY AND PATTERNS RANKING FOR MAKING DECISIONS IN MULTI-PARAMETRIC COMBINED RECOGNITION SYSTEMS

**O. I. Zakhzhay**

*Donbass state technical university*

**Annotation.** *One of the most promising concepts for construct recognition systems is combined systems of patterns recognition. Its concept proposed by Zhuravlev Yu.I. In this combined systems of patterns recognitions objects description included the signs of different types of information (deterministic, probabilistic, logical or structural). In this case, a sufficiently large-scale and universal database is created to describe any recognition objects for a variety of conditions for their observation. But this concept does not provide high level of recognition authenticity. For eliminate this disadvantage may be used multi-parameter combined recognition systems where the signs have a different nature of occurrence. However, such systems also have a significant disadvantage: essential increase the number of information signs for the recognition objects. This article considered questions of the informative criteria and patterns ranking development for de-*

*cision making in multi-parameter combined recognition systems. The proposed criteria allow at any time in the system's life cycle to carry out selection of informative patterns for high level of recognition authenticity providing. The proposed approach of two-stage ranking of informative images for the object of recognition. It allows determine the further strategy of their analysis and decision-making. Determination informativity criteria is based on stationarity and non-stationarity distortions of object's patterns when they are reflected on sign's area. It allows for any patterns of recognition objects to use two criteria (stationarity and non-stationarity) for determination of informativity. At the first stage carry out a priori determining patterns informativity with stationary criteria and its information is base for second stage – a posteriori determining informativity by non-stationary criteria. These two stages allow make the choice most informativity patterns for next decision-making. It allows reduce the information field of analysis and speed up result obtaining. Also on the two-stage informativity determining based patterns ranking, which was proposed. For decision-making speed maximization informative patterns analysis is carried out in accordance with ranking and decreasing of informativity level. Thus, at any time of system's life cycle, the decision-making is based on the most informativity patterns of recognition object.*

**Keywords:** *multi-parameter combined patterns recognition systems, patterns and signs informative, a priori patterns analysis, a posteriori patterns analysis, stationary and non-stationary distortion of recognition objects reflection in sign's area.*

## КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ И РАНЖИРОВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РАСПОЗНАВАНИЯ

О. И. Захожай

*Донбасский государственный технический университет*

**Аннотация.** *Рассмотрен вопрос разработки критериев информативности и ранжирования образов при принятии решений в многопараметрических комбинированных системах распознавания образов. Предложенные критерии позволяют в произвольный момент жизненного цикла системы осуществлять селекцию информативных образов с целью обеспечения высокого уровня достоверности распознавания. Предложен подход двухэтапного ранжирования информативных образов объекта распознавания с целью определения дальнейшей стратегии их анализа и принятия решений.*

**Ключевые слова:** *многопараметрические комбинированные системы распознавания образов, информативность образов и признаков, априорный анализ образов, апостериорный анализ образов, стационарные и нестационарные искажения отображения объекта распознавания в пространстве признаков.*

Получено: 15.03.2018



**Захожай Олег Ігорович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і електронних систем Донбаського державного технічного університету. Просп. Перемоги, 84, Лисичанськ, Україна, E-mail: zakhozhay.oleg@gmail.com, тел. +380668002274.

**Oleh Zakhozhay**, PhD, ass. prof., associate professor of Information technologies and electronic systems chair in Donbass state technical university. Peremogy ave., 84, Lysychansk, Ukraine.

**ORCID ID:** 0000-0002-9078-3242