



Наукові перспективи
Видавнича група

№ 9 (37)

2024

НАУКА і ТЕХНІКА

серія: право, серія: економіка, серія: педагогіка,
серія: техніка, серія: фізико-математичні науки

СЬОГОДНІ



З Україною

в серці!



Publishing Group «Scientific Perspectives»

**Public Scientific Organization «Ukrainian Assembly of
Doctors of Sciences in Public Administration»**

Public organization «Association of Scientists of Ukraine»

"Science and technology today"
*("Pedagogy" series, "Law" series, "Economics" series,
"Physical and mathematical sciences" series, "Technics" series)*

Issue № 9(37) 2024

Kiev – 2024

ЗМІСТ

СЕРІЯ «Право»

Bondarchuk Yu.P., Yeshchenko M.H., Bondarchuk S.V. <i>EMPLOYMENT RELATIONSHIP INVOLVING INTERNALLY DISPLACED PEOPLE UNDER MARTIAL LAW IN UKRAINE</i>	14
Василик В.В. <i>ПРИНЦИПИ ПРОБАЦІЇ ЯК СКЛАДОВА МЕХАНІЗМУ ПУБЛІЧНОГО АДМІНІСТРУВАННЯ У ДАНІЙ СФЕРІ</i>	35
Дрозач С.О. <i>ОСОБЛИВОСТІ КВАЛІФІКАЦІЇ ВОЄННИХ ЗЛОЧИНІВ В УКРАЇНІ</i>	44
Дутко А.О. <i>ЮРИДИЧНА КОНСТРУКЦІЯ ДОГОВОРУ ПРО НАДАННЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ПОСЛУГ</i>	54
Колпаков В.К. <i>СИСТЕМАТИКА ПРИНЦИПІВ ФІНАНСОВОГО МОНІТОРИНГУ</i>	63
Москаленко С.І. <i>ПОНЯТТЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ГОСПОДАРСЬКОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ УНІТАРНОГО КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА</i>	75
Полішко Н.Л., Ракул О.В. <i>БАНКІВСЬКА ГАРАНТІЯ ТА ПОРУКА ЯК ВИДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОНАННЯ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВИХ ЗОБОВ'ЯЗАНЬ (НА ПРИКЛАДІ ДОГОВОРУ ФАКТОРИНГУ)</i>	83
Сабадаш Н.О. <i>ОКРЕМІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОРГАНАМИ ДЕРЖАВНОЇ ВЛАДИ ТА ОРГАНАМИ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ ПРАВ ТА ОБОВ'ЯЗКІВ У ПОДАТКОВИХ ПРАВОВІДНОСИНАХ</i>	93
Сергієнко Н.А., Гапонов О.О. <i>ІНВЕСТИЦІЙНИЙ АРБІТРАЖ: МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ ТА ПРАКТИКА ЗАХИСТУ ПРАВ ІНВЕСТОРІВ В УКРАЇНІ</i>	102
Силантьєва І.В. <i>ТРАНСФОРМАЦІЯ ГРОМАДЯНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА ЯК СКЛАДОВА ПРОЦЕСУ ДЕРЖАВОТВОРЕННЯ</i>	113

Стрельченко А.М.

121

*ПОРІВНЯЛЬНО-ПРАВОВА ХАРАКТЕРИСТИКА АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ БРОНЕЗАХИСТУ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ В ЕСТОНІЇ***СЕРІЯ «Економіка»****Благополучна А.Г., Поворознюк І.М., Балабанов Г.В.**

133

*МІСЦЕВА ЇЖА В РОЗВИТКУ РЕГІОНАЛЬНИХ ТУРИСТИЧНИХ НАПРЯМКІВ***Гаврилко Т.О., Доманська О.М.**

146

*БАНКІВСЬКА СИСТЕМА УКРАЇНИ В УМОВАХ ПОВНОМАСШТАБНОЇ АГРЕСІЇ***Губіна О.Ю.**

160

*ФІНАНСОВИЙ МОНІТОРИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗДІЙСНЕННЯ ДЕТИНІЗАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ***Коржов Є.О., Шевченко В.М.**

172

*РОЗВИТОК ІННОВАЦІЙ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СТАРТАП-ПРОЄКТІВ***Путицький А. І.**

186

*ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЕКОНОМІЧНОЇ НЕРІВНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОЇ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ***Седіков Д., Седікова І.**

197

*БІЗНЕС-ПЛАНУВАННЯ ЯК БАЗИС ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ***Стефанюк Є.О.**

208

*ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ***Щитов Д.М., Мормуль М.Ф., Щитов О.М.**

223

*ОЦІНКА КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ УКРАЇНИ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ ТОРГІВЛІ***СЕРІЯ «Педагогіка»****Dekarchuk M.V.**

239

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF TRAINING FUTURE TEACHERS OF PHYSICS (NATURAL SCIENCES) FOR SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL RESEARCH

Tsyhanok O.O., Sanivskiy O.M.*THE ROLE OF INTERACTIVE TEACHING METHODS IN DEVELOPING INTERCULTURAL COMPETENCE OF FUTURE PHILOLOGY TEACHERS*

253

Zhou Hongxuan*INTEGRATION OF FIRST-YEAR STUDENTS INTO THE SOCIO-CULTURAL ENVIRONMENT OF A HIGHER EDUCATION INSTITUTION: ANALYSIS OF LEVELS AND FACTORS OF INFLUENCE*

264

Афанасьєв А.О.*ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ КІНОЛОГІЧНИХ ПІДРОЗДІЛІВ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО*

276

Бацуровська І.В., Кашина Г.С., Макієвський О.І.*ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ТЕОРІЇ ТА МЕТОДИКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ*

285

Волкова Н.П.*КОЛАБОРАТИВНЕ НАВЧАННЯ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ПОЛІКУЛЬТУРНОЇ КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ПРИ ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ ТУРИЗМУ*

297

Гіжецький А.В., Чересюк О.Д., Чересюк Д.О., Ремінь В.В.*ОСОБЛИВОСТІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ ДО ВИКОНАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ІЗ ЗАХИСТУ ДЕРЖАВИ*

308

Гречнєва М.О., Зіновєєв І.В., Манько Н.І.-В.*МЕТОДИЧНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ*

317

Кирієнко М.І., Пасько О.М.*ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ДИЗАЙНІ*

331

Ковальчук І.В.*ЗАНЯТТЯ З ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ ЯК ЗАСІБ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗДОРОВ'Я УЧНІВ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО КОНФЛІКТУ*

343

Колесник Н.Є., Куниця Г.В., Погосьян Д.Р.*ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ З ДИЗАЙНУ ДО ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТУ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АНІМАЦІЙНОЇ ГРАФІКИ*

356

Король А.М.*РОЗВИТОК ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ З ДИЗАЙНУ*

367

- Лазаренко С.В.** 375
*ДИСТАНЦІЙНЕ НАВЧАННЯ В СИСТЕМІ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ:
ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ (в аспект і викладання української мови як
іноземної)*
- Мартиненко С.М., Кузьміч І.Б.** 386
*УПРОВАДЖЕННЯ ПЕДАГОГІЧНИХ УМОВ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОЗААУДИ-
ТОРНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС КОЛЕДЖІВ*
- Марченко О.Г., Панченко В.Ю., Онипченко П.М.** 396
*ГОТОВНІСТЬ ЯК ОСОБИСТІСНА ТА СОЦІАЛЬНО-ПРОФЕСІЙНА
ХАРАКТЕРИСТИКА ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦЯ*
- Миколайко В.В.** 406
*ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ
ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ*
- Миколайко В.В.** 417
*ЕФЕКТИВНЕ ВИВЧЕННЯ ФІЗИКИ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ПЕДАГО-
ГІЧНИХ ПІДХОДІВ*
- Петрова І.В.** 429
*ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ДИЗАЙНЕРІВ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ*
- Самусь Т.В.** 440
*ФАХОВА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ПРОФЕСІЙНОГО
НАВЧАННЯ ТА НАПРЯМИ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ*
- Скасків Л.В., Ярова О.А., Купріянова А.О.** 453
*ІГРИ З НУЛЬОВОЮ СУМОЮ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ФІНАНСОВИХ
РИНКАХ*
- Теренко О.О.** 462
*СТРУКТУРНІ І ЗМІСТОВІ ОСОБЛИВОСТІ НЕФОРМАЛЬНОЇ ОСВІТИ
ДОРΟΣЛИХ У США І КАНАДІ*
- Тименко В.П.** 472
*МУЛЬТИМЕДІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ
ОБДАРОВАНИХ ДИЗАЙНЕРІВ*
- Тягай І.М., Махомета Т.М.** 480
*ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ
У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ФАХОВИХ ДИСЦИПЛІН МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ
МАТЕМАТИКИ*

Усатенко В.М.*ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНО-ПЕДАГОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ
МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ЧЕРЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ MOODLE
(НА ПРИКЛАДІ ВИВЧЕННЯ КУРСУ «ПЕДАГОГІКА»)*

489

Чжу Цзінькуан*ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙ У ПРОФЕ-
СІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ*

499

Чубінська Н.Б., Савшак М.М.*ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ КОМПОНЕНТ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ
СОЦІАЛЬНИХ НАВИЧОК ІТ-ГАЛУЗІ В УМОВАХ КОРПОРАТИВНОГО
НАВЧАННЯ*

510

Яковлева В.А., Власенко Р.П.*ПРАКТИЧНА СКЛАДОВА У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНЬОГО
ВЧИТЕЛЯ ГЕОГРАФІЇ*

519

СЕРІЯ «Техніка»

Krasilenko V.G., Dubchak V.M., Diachynska O.M.*THE THEORETICAL BASIS OVERVIEW FOR SUBSTANTIATING AND
CHOOSING THE WAYS AND PRINCIPLES OF BUILDING MULTI-VALUED
LOGIC COMPUTING SYSTEMS*

531

Stadnychenko A.V.*COST-BENEFIT ANALYSIS OF CLOUD SERVICES IN DIFFERENT PHASES
OF THE SOFTWARE DEVELOPMENT LIFE CYCLE*

546

Бобнєв Р.О., Колендовска М.М., Поліщук В.В., Храмцов П.В.*ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ В
МЕЖАХ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА*

565

Бондарчук О.І., Гаць Б.М., Осадчук С.І.*ВИКОРИСТАННЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КІБЕРБЕЗПЕКИ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ*

574

Борин В.С., Маліборський І.В.*ВИБІР МЕТОДУ ТА СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ
ІНГІБІТОРУ ГІДРАТУТВОРЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ТА
УМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ*

590

Гончарук В.В., Парахненко В.Г., Соколов С.О., Скаковський С.І.*РОЛЬ ГРОМАДСЬКОСТІ УКРАЇНИ У ЗБЕРЕЖЕННІ ЛІСІВ ВІД ІНВАЗИВ-
НИХ ВИДІВ*

602

- Горобець С.М., Горобець О.С.** 613
*МОДЕЛЬ БАЗИ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ
НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В ЗАКЛАДІ ОСВІТИ*
- Давиденко Я.С.** 625
*МАШИННЕ НАВЧАННЯ: МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ДЛЯ
ВИЯВЛЕННЯ НЕЗВИЧАЙНИХ МОДЕЛЕЙ, ЯКІ НЕ ВІДПОВІДАЮТЬ
ОЧІКУВАНІЙ ПОВЕДІНЦІ*
- Добришев Р.Є.** 639
*МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ВІЗУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ НАТОВПУ В СИСТЕМАХ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ*
- Задорожна О.М., Тараймович І.В., Худоярова О.С., Парахненко В.Г.** 652
*ВІТАМІН D: ЧОМУ ЙОГО НЕДОСТАТНІСТЬ СТАЄ ГЛОБАЛЬНОЮ
ПРОБЛЕМОЮ*
- Гльїн С.В., Мазничко А.Б.** 665
*ВИБІР СТАНДАРТУ ШТРИХОВОГО КОДУВАННЯ ДОКУМЕНТІВ
СТРАХОВОГО ФОНДУ ДОКУМЕНТАЦІЇ*
- Кравець І.С., Парахненко В.Г., Шевченко А.М., Гончарук В.В.** 675
*ВПЛИВ ІНВАЗИВНИХ РОСЛИН НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЛІСОВИХ
ЕКОСИСТЕМ*
- Лотошинська Н.Д., Ковальчук А.М.** 686
ПОКРАЩЕНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗЕЛЕНОГО КОЛЬОРУ
- Мельник Г.В., Демківська Т.І., Чупринка Н.В.** 697
*УПРАВЛІННЯ КОМАНДАМИ В ІТ-ПРОЄКТАХ: ВПЛИВ ВІДДАЛЕНОЇ
РОБОТИ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ*
- Мельниченко Н.П.** 712
*АНАЛІЗ НАКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ СУЧАСНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ*
- 720
- Парахненко В.Г., Кисельов Ю.О., Малащук О.С., Рудий Р.М., Шемякін М.В.,
Удовенко І.О., Фоменко В.А., Варфоломєєва О.А., Панасюк О.П.**
*АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД*
- Парахненко В.Г., Кисельов Ю.О., Рудий Р.М., Шемякін М.В.,
Прокопенко Н.А.** 733
СУЧАСНІ МЕТОДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ У БУДІВНИЦТВІ

- Парахненко В.Г., Кисельов Ю.О., Рудий Р.М.** 742
*ВПЛИВ ІНВАЗІЙНИХ РОСЛИН НА ТОЧНІСТЬ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІ-
РЮВАНЬ*
- Парахненко В.Г., Гончарук В.В., Кирпичова І.В., Березенко К.С.** 754
*ОРГАНІЗАЦІЯ І ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ЖИВИХ СИСТЕМ У
БІОЦЕНОЗАХ*
- Пилипенко В.І., Стаценко В.В.** 763
*ВИКОРИСТАННЯ ДВОРІВНЕВОГО МЕТОДУ СТЕКОВОГО АНСАМБЛЮ
ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ*
- Повхан І.Ф., Сароз В.Я., Легеза А.В.** 775
ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ПІДХОДИ ONLINE НАВЧАННЯ
- Поплавський О.А.** 797
*МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ*
- Руденко Ю.О., Агаджанова С.В., Агаджанов-Гонсалес К.Х., Баталова А.Б.,
Вьюненко О.Б.** 808
*АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В
РАМКАХ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК*
- Семенчук К.Л.** 817
*УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ
ДВІЙНИКІВ*
- Сікора Я.Б.** 832
*МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ
НЕЧІТКОСТІ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ*
- Слісаренко Р.В., Дейнеко Ж.В.** 842
*ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ З УРАХУВАННЯМ
ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ
БЕЗПЕКИ*
- Стожок О.О., Козяр М.М., Товт Б.М.** 855
*ВИКОРИСТАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ІЗ
МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ*
- Столярчук І.Д., Гарбич-Мошора О.Р., Карпин Д.С., Карпин А.В.,
Юзефович Н.І.** 878
*ІНТЕРАКТИВНИЙ ГІД ДЛЯ РИБОЛОВЛІ З СУЧАСНИМИ ТЕХНОЛО-
ГІЯМИ І РЕАБІЛІТАЦІЙНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ*

Тараймович І.В., Задорожна О.М., Парахненко В.Г. 892
МАКРО- ТА МІКРОНУТРІЄНТИ БАЛАНС ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ТІЛА

Устенко С.А. 903
ПОШУКОВА СИСТЕМА НА БАЗІ БІНАРНОГО РОЗБИТТЯ ПРОСТОРУ

Фоменко В.А. 918
ТЕХНОЛОГІЇ ДРОНІВ У ГЕОДЕЗІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ

Цьоменко Д.М. 931
ХМАРНІ БАЗИ ДАНИХ: МОЖЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Часник Д.В. 942
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У ТЕХНОЛОГІЇ КОРПУСУВАННЯ ТА СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

СЕРІЯ «Фізико-математичні науки»

Герич В.Ю., Ніколенко В.В., Копча-Горячкіна Г.Е. 954
ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КВАНТОВАНИХ МОДЕЛЕЙ ЯПОНСЬКИХ СВІЧОК ПЕРШОГО ПОРЯДКУ

Кобус О.С. 967
КОПУЛА-МОДЕЛІ В МАТЕМАТИЦІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ МНОЖИННИМИ ФАКТОРАМИ РИЗИКУ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ПОДІЙ «ЧОРНОГО ЛЕБЕДЯ»

Щитов О.М., Мормуль М.Ф. 980
ОТРИМАННЯ ТОЧНОЇ КОНСТАНТИ В НЕРІВНОСТІ ТИПУ ДЖЕКСОНА ДЛЯ НАЙКРАЩОГО НАБЛИЖЕННЯ ФУНКЦІЙ ТРИГОНОМЕТРИЧНИМИ ПОЛІНОМАМИ В ПРОСТОРИ S^p

СЕРІЯ «Техніка»*UDC 004.056.55**[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-9\(37\)-531-545](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-9(37)-531-545)*

Krasilenko Vladimir Grigorovich PhD in Computer Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Economic Cybernetics, Vinnytsia National Agrarian University, St. Sonyachna, 3, Vinnytsia, 21008, tel.: (098) 37-07-440, <https://orcid.org/0000-0001-6528-3150>

Dubchak Viktor Mykolaiovych Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Computer Technologies, Vinnytsya National Agrarian University, St. Sonyachna, 3, Vinnytsia, 21008, tel.: (068) 704-15-14, <https://orcid.org/0000-0002-1436-3641>

Diachynska Olena Mykolaivna Assistant of the Department of Mathematics, Physics and Computer Technologies, Vinnytsia National Agrarian University, St. Sonyachna, 3, Vinnytsia, 21008, tel.: (067) 706-32-59, <https://orcid.org/0000-0003-1856-3525>

**THE THEORETICAL BASIS OVERVIEW FOR SUBSTANTIATING
AND CHOOSING THE WAYS AND PRINCIPLES OF BUILDING
MULTI-VALUED LOGIC COMPUTING SYSTEMS**

Abstract. The article is devoted to the review and analysis of the theoretical basis and mathematical apparatus of some unconventional, less well-known and much less often used logics, including scalar threshold and multivalued logics, especially matrix logics, which are a generalization of scalar logics and significantly expand their functionality compared to scalar logics. Special attention is paid to the review of linearly and monotonically multilinearly separable functions, which can be a theoretical basis for the synthesis of logical elements based on them with corresponding k-valued alphabets, with sign-variable codes, or non-positional coding systems, for example, with a system of coding residues. On the basis of the analysis of this mathematical basis, justification was made and possible promising ways of building multi-valued logic computing systems were selected. It is proved that the use of monotonically multilinearly separable functions and more general

multivalued or threshold logics allows the synthesis and development of functionally more powerful computing devices and systems of multivalued logic to be reduced to the development of a parallel array of logical elements of multivalued logic based on modulo addition operations and the use of systems residual coding. The need to create universal or quasi-universal picture logic elements of matrix two-value logic with a programmable setting for the performed function is formulated, since they can become the main hardware basis for devices of multi-value and neural, and especially matrix logic. Selected on the basis of a review and analysis of both the theoretical basis and achievements in optoelectronics, promising ways and principles of building promising multi-valued logic computing systems, the hardware basis of which can be multi-threshold comparator-selectors, implemented including on the basis of current reflectors and photonic elements of integrated optics.

Keywords: multi-valued logic, threshold logic, parallel processing, accelerator, non-traditional mathematical apparatus, multi-valued computing system, multi-linearly separable function, universal picture elements of matrix two-valued and multi-valued logic.

Красиленко Володимир Григорович кандидат технічних наук, с.н.с., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики, Вінницький національний аграрний університет, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, тел.: (098) 37-07-440, <https://orcid.org/0000-0001-6528-3150>

Дубчак Віктор Миколайович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математики, фізики та комп'ютерних технологій, Вінницький національний аграрний університет, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, тел.: (068) 704-15-14, <https://orcid.org/0000-0002-1436-3641>

Дячинська Олена Миколаївна асистент кафедри математики, фізики та комп'ютерних технологій, Вінницький національний аграрний університет, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, тел.: (067) 706-32-59, <https://orcid.org/0000-0003-1856-3525>

ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНОГО БАЗИСУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБОРУ ШЛЯХІВ І ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ БАГАТОЗНАЧНОЇ ЛОГІКИ

Анотація. Стаття присвячена огляду та аналізу теоретичного базису та математичного апарату деяких нетрадиційних, менш відомих та значно рідше використовуваних логік, в тому числі скалярних порогових та багатозначних логік, особливо матричних логік, які є узагальненням скалярних та які суттєво

розширюють їх функціональні можливості у порівнянні зі скалярними. Особливу увагу приділено огляду лінійно та монотонно мультилінійно роздільних функцій, що можуть бути теоретичним базисом для синтезу на їх основі логічних елементів з відповідними k -значними алфавітами, зі знакозмінними кодами, чи непозиційними системами кодування, наприклад з системою кодування залишками. На основі аналізу цього математичного базису здійснено обґрунтування та вибрані можливі з перспективних шляхів побудови обчислювальних систем багатозначної логіки. Наведені порівняльні характеристики та показані функціональні переваги логічних пристроїв, спеціальних процесорів та обчислювальних систем на основі нетрадиційних порогової та багатозначної логіки. Доведено, що використання монотонно мультилінійно роздільних функцій та більш загальних багатозначних чи порогових логік, дозволяє звести синтез та розробку функціонально більш потужних обчислювальних пристроїв і систем багатозначної логіки до розробки паралельно працюючого масиву логічних елементів багатозначної логіки, що базуються на операціях додавання за модулем та використанні систем залишкового кодування. Сформульована необхідність створення універсальних чи квазі-універсальних картинних логічних елементів матричної двозначної логіки з програмованим налаштуванням на виконувану функцію, оскільки вони можуть стати основним апаратним базисом для пристроїв багатозначних та нейронних, а особливо матричних логік. Вибрані на основі огляду і аналізу, як теоретичного базису так і досягнень в оптоелектроніці, перспективні шляхи та принципи побудови перспективних обчислювальних систем багатозначних логік, апаратним базисом яких можуть стати багатопорогові компаратори-селектори, реалізовані в тому числі на основі віддзеркалювачів струму та фотонних елементів інтегральної оптики.

Ключові слова: багатозначна логіка, порогова логіка, паралельна обробка, прискорювач, нетрадиційний математичний апарат, багатозначна обчислювальна система, мультилінійно роздільна функція, універсальні картинні елементи матричної двозначної та багато-значної логіки.

Introduction. Over the past 30 years, there has been a constant increase in interest in the tasks of image processing and recognition, which is due to the wide application of devices and systems that use methods of processing multidimensional signals, multilevel and color images, magnetic, thermal, acoustic and other fields. Such systems are used for scene analysis, analysis of signals and images in medicine, for recognition and automatic reading of symbols, images, signatures, for identification of persons based on dactyloscopic images of fingerprints, retina, for recognition and automated input into computer systems, languages gestures, etc. All of these application areas use appropriate algorithms and models for image processing, analysis, and recognition. In recent decades, the list of image processing

methods has significantly expanded. In addition to traditional, long and widely known, linear processing methods, a number of non-linear processing methods, morphological methods and algorithms have appeared, which are described in terms of matrix logics, in terms of corresponding newly created algebras of images. These new non-traditional methods, approaches and algorithms are mostly based on generalized, not ambiguous, but multi-valued, or even continuous, fuzzy, analog-discrete, hybrid, biologically motivated neural logics [1-8]. There have been many new scientific works, articles dedicated to the description, analysis and modelling of image processing and recognition processes precisely in terms of these more generalized matrix neurobiologically motivated logics. At the same time, the limitation to the wider use of these modern and promising logics and algorithms and models based on them is the lack of efficient high-performance processors and special computers, the architecture of which would correspond to these matrix logics. Specialized image processing systems are known, which are implemented on the basis of devices of the conveyor-systolic type, matrix type, processors with a variable structure and switching systems, vector-matrix and matrix-matrix multipliers, homogeneous computing and memory environments, neuroprocessors [2, 4- 8]. But since high-performance image processing and recognition systems, especially for real-time processing, require not only significant computing resources and a large amount of memory for data storage, but also appropriate, adapted to modern methods and algorithms with non-traditional logics, structures of such systems and devices. Such structures, in addition, must provide not only parallel processing, but also parallel input-output of matrix operands, therefore, consideration of conceptual approaches and principles for the design of such specialized accelerator computers is an urgent and necessary task. Parallelization of image processing processes, two-dimensional arrays in most known architectures, such as matrix, conveyor and systolic, does not occur at all stages of processing, and the «bottleneck» is the input-output process itself. In addition, such processors, which are parallel from the point of view of hardware implementations, do not always use exactly matrix models and the corresponding matrix apparatus: matrix logic, linear algebra, matrix computational procedures, algebra of morphological operations, algebra of images, etc. Also, most such processors use simple discrete matrix logic, and most often simple binary logic.

Analysis of Recent Research and Publications.

Therefore, **the purpose** of this article is to highlight issues related to the analysis of the theoretical basis, which is necessary to create new matrix models based on it, especially with the use of new generalized logics that can improve the description, analysis, and modelling of parallel processing of two-dimensional and multidimensional information. including images, in specialized high-performance processors focused on more modern methods and non-traditional mathematical matrix apparatus.

The review of the theoretical basis, for example, partly of multi-valued logics, for substantiating and choosing the principles of building specialized processors and accelerators is aimed at the development and adaptation of new matrix models for specific practical tasks. Their application in the modelling and design of such specialized devices will allow choosing optimal and effective structures of such processors and image processing and recognition systems even at the design stage.

Presentation of Main Results. We will consider and analyze the theoretical basis for building special processors based on multivalued logic and equivalence algebra [9-11] with its continuous logical operations and connections with other operations and connections with other unconventional algebras.

Multivalued Threshold Logic (MTL) research originated in the initial period of Threshold Logic (TL) research. After the description of the properties of the threshold (binary) functions, work on the ternary PL began, which lasted for several decades, which was explained by the emergence of possibilities for its implementation on the basis of spectral components, first discrete, and then microelectronic integrals. It is known that the binary TL is functionally complete, and out of all 16 existing two-digit functions, 14 are threshold, and the change of the weighting coefficients of the vector makes such PL elements programmable for the desired function. The functional completeness of the BTL has also been proved [12, 13], i.e., any multivalued computing system (MvCS) can be implemented only with the help of threshold functions, and this makes it possible to present a purely threshold implementation of complex MvCS. On the other hand, from the point of view of the «combinatorial explosion», BTL seems not to be interesting. After all, only 471 of $3^{3^2} = 19683$ the two-digit functions of ternary logic are threshold, and 4^{16} only 18184 of the two-digit functions of quaternary logic are threshold. And when considering the function of three variables of binary logic, only 104 ($\approx 40\%$) of them are threshold, for ternary $7,6 \cdot 10^{12}$ functions, only 85629 of all functions are threshold. The relative number of multivalued threshold functions (MvTFs) is insignificant and decreases with the importance and growth of the number of variables, but nevertheless the absolute number of such functions is large enough, which is a good incentive, taking into account the functional completeness, to search for a class of problems where BTL will give advantages.

One of the vivid examples of the effective application of BTL is the implementation of a p -valued ($p = 3$) full adder (based on only two threshold elements [13]). But mainly only electronic implementations were used for threshold coding, for example, $I^2\mathcal{A}$ a threshold detector for implementing 4-level logic [13]. The prospects opened up by optical, optoelectronic or electro-optical methods and calculations and their elemental basis are hindered by the fact that known optical bistable elements and structures (ideally a switching device with a transfer characteristic in the form of «stairs») have a number of significant disadvantages (large optical powers or instability, spread of parameters, etc.), which make it

impossible to easily implement all necessary (even with non-negative thresholds and coefficients) operations, including quantization and level discrimination. Therefore, the search for successful BTL implementations on a microelectronic basis is relevant in combination with optical options for solving interconnection problems. An additional incentive for this is that the implementation of BTL can be carried out using the so-called multi-linear spread, that is, the representation of the BTL-functions by the decomposition of binary auxiliary linearly separable (LS) functions $g: V^n \rightarrow \{0,1\}$, which are also thresholded.

A function $f: V^n \rightarrow V$ is multilinear separable (MLS) if there exists a multiset $G = \langle g_i | g_i: V^n \rightarrow \{0,1\}$, where g_i is the LR function and $1 \leq i \leq p \rangle$, so that:

$$\sum_{i=1}^{p-1} g_i(x) = f(x). \quad (1)$$

The multilinear separable function $f: V^n \rightarrow V$ is monotone multilinear separable (MMLS) if for all values of X in V^n :

$$f(x) < i \Leftrightarrow g_i(x) = 0; \text{ and } f(x) \geq i \Leftrightarrow g_i(x) = 1. \quad (2)$$

It is important that f is a threshold function if the entire set (number) g_i of auxiliary functions for the MMLS function are isobaric functions (isobars), that is, LR functions with the same weighting coefficients. From the point of view of geometry, a function $f: V^n \rightarrow V$ is an MMLS if there exists a set of optionally parallel n -dimensional hyperplanes separating, $f^{-1}(0)$ from $f^{-1}(1), f^{-1}(p-1)$. Note that work [13] also shows that in ternary logic there are 703 two-digit MMLS functions and 532485 three-digit MMLS functions, and in quaternary logic there are 61160 two-digit MMLS functions. This means a significant improvement of the situation in comparison with the corresponding number of threshold functions as the number of arguments increases.

The following lemmas are also known [12]:

If $f: V^n \rightarrow V$ is a MMLS -function, then the functions obtained by permuting or complementing the arguments in f or by complementing f are also MMLS -functions.

Let $f: V^n \rightarrow V$ is the MMLS function, where

$$f(x) = \sum_{i=1}^{p-1} g_i(x).$$

Then \bar{f} is also an MMLS function and $\bar{f}(x) = \sum_{i=1}^{p-1} \bar{g}_i(x)$, where, $\bar{g}_i(x) = 1 - g_i$, $1 \leq i < p$, i.e., \bar{g}_i is the binary complement of g_i .

From formulas (1) and (2), it becomes clear that the implementation of p -valued MS functions (which includes threshold functions) reduces to $(p-1)$ level LS-functions, which are simply binary threshold functions, but with p -valued arguments. But since a p -valued argument can be represented, for example, $k = \lceil \log_2 p \rceil$ by binary digits, any LS-function from m p -valued arguments can be

represented by an LS-function from (m, k) two-valued (binary) arguments. Binary threshold coding has many adequate optoelectronic, optical implementations [12, 14], and therefore, taking into account all the above-mentioned factors, it is possible to propose the principles of implementation of the general structure of MS functions. They will be based on the use of universal logical elements of binary logic from m, k arguments. Such picture elements of matrix binary logic (MBL) were proposed in the paper [15]. But they have a significant drawback, which is an increase in the time required to perform the MBL-operation when the number of arguments is increased, since they use time-pulse coding as an intermediate. With typical values p_i of modules in residual coding systems (RCS) processes [16], for example, $\vec{p} = \{17, 19, 23, 29, \dots\}$ the number of inputs to the universal matrix elements (UMEs) of MBL will be at least 10 at $m = 2$. And this means $t_{\text{обп}} \approx t_0 \cdot 2^{10} = 1024 t_0$ that is unacceptable. But if $t_0 \approx 10^{-12} c$ this is the delay time of the optical signal, then even when multiplied by a factor $2^{m, k} = 1024$ the total processing time will not exceed 1 nanosecond. Therefore, it is necessary to look for new approaches to the creation of UMEs of MBL. One approach is to use spatial coding, which is more convenient for optics. But a significant number of terms and arguments, recognizable situations, with corresponding even amplitude two-level encodings, require a significant total dynamic range and adjustment and reduction of technological parameter scatters. The appearance of semiconductor lasers with a controlled emission wavelength and highly efficient filters allows us to use, in our opinion, the most optimal spectral coding, taking into account most of the requirements and aspects in the development of UMEs of MBL or UMEs of MTL. The essence of this approach is that an optical pulse generated by a laser diode with the appropriate power P_0 and required $\lambda_x \in \{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{p-1}\}$ wavelength passes through p spatial optical filters and appears only at the output of one filter, and a similar pulse with $\lambda_y \in \{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{p-1}\}$ a wavelength corresponding to the second variable appears at one of outputs of another set of p similar filters. This allows when using a threshold photocell (threshold $\geq 1,5 P_0$) to convert each set of input variable arguments into a unique spatial coordinate. Then the coordinate (x, y) recognized $\{0, 1, \dots, p-1\} \times \{0, 1, \dots, p-1\} = \{\lambda_x\} \times \{\lambda_y\}$ in this way is matched (a laser diode with the required output wavelength is turned on at the output of the threshold photocell $\lambda_{\text{вих}}$) in accordance $\lambda_{\text{вих}} = f(\lambda_x, \lambda_y)$ with the truth table. This allows the use of optically controlled transparencies (OCTs), spatial light modulators (SLMs) and optical fixed filters selected by the truth table for $f(x, y)$ from a set of possible ones or laser diodes with a tunable wavelength. Possible options for the implementation of such UMEs of matrix multi-valued logic (MMvL) will be discussed further, here we have only outlined the principles and approaches to the construction of computing systems (OS) of multi-valued logic (MvL), the

essence of which boils down to the need to recognize subsets (regions) of points in an n -dimensional cube, which divides the cube, and which correspond to the given value $f(x, y) = \lambda_i$, where $i \in \{0, 1, \dots, p - 1\}$.

In other words, to form any desired switching function of the MvL, it is necessary to perform (divide) the classification of all possible vectors or values of the arguments that specify the points in the n – cube into p classes, and each class (subset of points) must be assigned the required value, associated with the number, class index. This conclusion allows us to state that it is possible to build a OS of MvL on the basis of three-digit neural networks [17], but this requires new theoretical fundamental and practical research that goes beyond the scope of this work. We note here only the fact that for the above approach we need to apply such ANNs, in which the capacity exceeds the number of neurons [18].

The following information about the so-called «generalized» separation, which is similar to multilinear separation functions, should become the theoretical basis for choosing ways to build the OS of MvL.

Let $f: V^n \rightarrow V$ [19]. We define a multiset as follows: $G = \langle g_i | g_i: V^n \rightarrow \{0, 1\}, g_i \text{ is an LS function}, 1 \leq i \leq K \rangle$ at $K \geq p$.

Let's define $Q: V^n \rightarrow V^n; Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$, where $q_i: V \rightarrow V, 1 \leq i \leq n$.

If for all $X \in V^n$ holds

$$\Gamma_{i=1}^{k-1} g_i(Q(x)) = f(x),$$

then it can be asserted that f is determined using a «generalized» separation, where Γ is a closed form of defined pairwise connecting procedures. From a geometrical point of view, this allows us to use not a hyperplane, but a hypersurface to separate (separate) the points of the hypercube V^n . The latter divide some subset $f^{-1}(v)$ from neighboring subsets $f^{-1}(v + 1)$ (or from $f^{-1}(v - 1)$), because $k \geq p$.

Quadratic or other nonlinear separation of the function (by hypersurfaces) is better suited to implementation based on nonlinear light modulators [11]. The use of non-linear transformations of the arguments, i.e. non-linear refinement before splitting, facilitates the selection of hyperplanes or MS functions.

Another promising direction in the construction of MvL-OS is the use of multi-threshold comparators [20], which are described by a function $f: V \rightarrow \{0, 1\}$, where $V = \{0, 1, \dots, p - 1\}$ and a set of thresholds (threshold vector $T = t_1, t_2, \dots, t_{2p}$) such that:

$$f(v) = \begin{cases} 0, & \text{if } v < t_1 \text{ or } (t_2 \leq v < t_3) \text{ or } t_4 \leq v < t_5 \dots \\ 1, & \text{if } t_1 \leq v < t_2 \text{ or } (t_3 \leq v < t_4) \text{ or } t_{2p-1} \leq v < t_{2p}, \end{cases}$$

to wit $\cup_{l=1}^{l=p} (t_l^l \leq v < t_{up}^l)$,

where t_l^l, t_{up}^l is a pair of thresholds corresponding to the l range of the carrier:

lower t_l , and upper t_{up} . Such multi-threshold comparators can also be called level selectors. We define a complementary function $f(v)$ to this function $\bar{f}(v)$, which is defined as:

$$\bar{f}(v) = \begin{cases} 0, \text{ if } \bigcup_{l=1}^{l=p} (t_l^l \leq v < t_{up}^l) \\ 1, \text{ if the opposite} \end{cases}$$

Note that this approach still strongly depends on the complexity and real possibilities of effective optoelectronic hardware implementation of such multi-threshold comparators, including those based on current mirrors (CMs) with photodiodes at the input [20]. In work [21] it is shown that not only functionally complete basic but all functions of binary logic can be implemented on these photocurrent reflectors, and in work [22] the results are presented showing the possibility of such circuitry on the CMs to implement a number of known basic functions (minimum, maximum) and generalized operations (equivalence, non-equivalence) of analog neurobiology. Therefore, further research in this direction and the development of methods for the synthesis of such multi-threshold comparator-selectors with different types of coding of arguments and variables (spatial, amplitude, phase, spectral, etc.) are expedient.

At the end of a brief overview of the theoretical basis for choosing the principles of building MvL-OS and their basic elements, for example, universal functions, MS functions, or a set of elementary logical functions that make up a functionally complete (or weakly complete) system in MvL, we recall that the following are known complete systems:

1) the Rosser-Tuckett system: $\{0, 1, \dots, p-1, x^0, x^1, \dots, x^{p-1}, \Lambda, V\}$, where Λ and V – the symbols of operations $\min(x_1, x_2)$ and $\max(x_1, x_2)$;

$$\text{and } x^l = f_l(x) = \begin{cases} p-1, & x = l \quad (l = 0, 1, \dots, p-1) \\ 0, & x \neq l \end{cases}$$

– characteristic functions;

2) the Post system: $\{V, \sim\}$, consisting of generalized disjunction operations (\max) and a cycle (\sim) defined as $f(x) = \sim x = (x+1) \bmod p$;

3) the Webb system consisting of one Webb operation ($^\circ$);

$$f(x_1, x_2) = x_1^\circ x_2 = (\max(x_1, x_2) + 1) \bmod p;$$

and an incomplete system: $\{V, \Lambda, \bar{}, -\}$, where $(\bar{})$ is the so-called complement ($\bar{x} = p-1-x$), and (V) and (Λ) are the operations of taking \max and \min , which corresponds to the Kline algebra [23], the structure of which is simpler than the algebras associated with the above systems of Rosser – Tuckett, Post, Web, and therefore is more widely used.

The analysis of this information shows that the presence of a set of constants $\{0, 1, \dots, p-1\}$, which makes weakly complete systems complete, and operations: $\{V \text{ or } \Lambda, -, \circ\}$ allows to implement essentially all known complete systems and algebras. The implementation of the operation $(\bar{})$ by optical methods essentially reduces to simple mirror images, the operation (\sim) to level shifts, the operation (V)

or (\wedge) taking into account de Morgan's laws and in the presence of the operation ($\bar{\quad}$) reduces to (\vee) or (\wedge), respectively, and therefore there is a need for one of them, and they are successfully implemented by the MMLS function or through the operation of the limited difference of analog logic [22], in addition, the operation (\circ) essentially includes the operations (\vee, \sim) from the Post system, the implementation of which was already mentioned above.

The use of MvL-OS as a basis for counting prime p numbers provides some specific features, since it is known that the operations of addition and multiplication modulo p then form a field, and it is possible to represent any switching function of one or two or more variables by polynomials in the form:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{p-1} a_i \cdot x^i \pmod{p}$$

and

$$f(x, y) = f_0(x) + f_1(x) \cdot y + f_2(x) \cdot y^2 + \dots + f_{p-1}(x) \cdot y^{p-1} \pmod{p},$$

where

$$f_i(x) = a_{0i}(x) + a_{1i} \cdot x + a_{2i} \cdot x^2 + \dots + a_{(p-1)i} \cdot x^{p-1} \pmod{p},$$

In addition, since, on the basis of Fermat's theorem, the operation of multiplication by modulo for a simple p can be reduced to the operation of addition modulo $(p - 1)$ powers of the generator, we come to the conclusion that the system of operations of addition and multiplication modulo p , or even one operation of addition, but modulo p and $(p - 1)$ are weakly functionally complete. Therefore, supplementing them with a set of constants $\{0, 1, \dots, p - 1\}$ makes them completely functional. Thus, it is necessary to look for such principles of construction of MvL-elements, and especially matrix multivalued ones, which are based on modulo addition operations, and are independent of the values of the module, because the moduli p_i can be different. The operations of simple algebraic addition and multiplication of signals are easily represented and implemented by the optical and optoelectronic elemental basis, taking into account the various physical effects that can be used for this. It is also known that analog periodic phenomena in optics, such as time or space-phase modulation, discrete changes in polarization, etc., are used to implement modulo operations. Methods of passive spatial maps, holographic recoding tables, based on optical deflectors and beam switching devices, methods of correlation processing and recognition, methods using electro-optical waveguide switches [16, 12, 24] deserve special attention. Works [25-27] and many others are examples of such application of optical methods for the implementation of the above modulo operations.

Conclusions. Conclusions: An overview of the theoretical basis for choosing ways and principles of building multi-valued logic computing systems showed that attention should be focused on:

- 1) the development of a generalized structure suitable for optoelectronic implementations that implements MS functions;
- 2) the further more effective, especially with a significant number of variables, optoelectronic version with new types of coding (spectral, phase, polarization) construction of the general structure of universal matrix elements of binary logic;
- 3) the study of the possibilities of using neural networks and their optoelectronic, optical implementations for building generalized structures of multi-valued logic computing systems and their basic universal or quasi-universal functional elements that implement the operations of complete systems;
- 4) researching the possibilities of effective implementations by means of optoelectronics and optics of «generalized» separation of functions, MS and MMLS-functions using pre-processing and non-linear transformations of arguments;
- 5) researching synthesis methods, designing multi-threshold comparators, selectors, discriminators; search for new effective implementations of them by optoelectronic means, including current reflectors;
- 6) creation of a new mathematical apparatus for describing such multi-level, multi-valued selectors in connection with other known mathematical modules, algebras and structures; mathematical apparatus of neurobiology, algebras of multivalued continuous logic;
- 7) researching the possibilities of creating universal elements with fast adjustment not only of scalar multivalued and matrix multivalued logic, but also continuous, neural, hybrid logics generalized to the matrix case [28, 29].

References:

1. Widrich, M., & Schäfl, B., Pavlovic, M., Ramsauer, H., Gruber, L., Holzleitner, et al. (2020). Modern Hopfield Networks and Attention for Immune Repertoire Classification. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33: 34th Conference on Neural Information Processing Systems. (Vols. 33), (pp. 18832–18845) [in English].
2. Smith, J., & Johnson, A. (2023). A review of associative memory models for neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 34(5), 1234-1246 [in English].
3. Krasilenko, V. G., & Magas, A. T. (1997). Multiport optical associative memory based on matrix-matrix equivalentors. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 3055), (pp. 137-146) [in English].
4. Krasilenko, V. G., & Lazarev, A. A., Grabovlyak, S. K. (2012). Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 8398), (pp. 83980N) [in English].
5. Onizawa, N., & Jarollahi, H., Hanyu, T., Gross, W. J. (2016). Hardware implementation of associative memories based on multiple-valued sparse clustered networks. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 6(1), 13–24 [in English].
6. Krasilenko, V. G. (2010). The structures of Optical Neural Nets Based on New Matrix – Tensor Equivalent Models (MTEMS) and results of modelling. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*, 19, 31-38.
7. Krasilenko, V. G., & Lazarev, A. A., Nikitovich, D. V. (2018). Design and simulation of optoelectronic neuron equivalentors as hardware accelerators of self-learning equivalent convolutional neural structures (SLECNS). In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 10689, Neuro-inspired Photonic Computing, 106890C). <https://doi.org/10.1117/12.2316352> [in English].

8. Krasilenko, V. G., & Lazarev, A. A., Nikitovich, D. V. (2018). Design and simulation of array cells for image intensity transformation and coding used in mixed image processors and neural networks. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 10751, Optics and Photonics for Information Processing XII, 1075119). <https://doi.org/10.1117/12.2322655> [in English].

9. Krasilenko, V. G., & Nikolsky, A. I., Krasilenko, O. V., Nikolska, M. A. (2011). Continuously logical complementary-dual equivalently analog-to-digital converters for the optical systems. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 8001, International Conference on Applications of Optics and Photonics, 800130). <https://doi.org/10.1117/12.892278> [in English].

10. Krasilenko, V. G., & Bogukhvalskiy, A. K., Magas, A. T. (1997). Equivalent models of neural networks and their effective optoelectronic implementations based on matrix multivalued elements. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 3055, International Conference on Optical Storage, Imaging, and Transmission of Information). <https://doi.org/10.1117/12.267699> [in English].

11. Krasilenko, V. G., & Bogukhvalskiy, A. K., Magas, A. T. (1996). Designing and simulation of optoelectronic neural networks with the help of equivalence models and multivalued logics. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 2824, Adaptive Computing: Mathematical and Physical Methods for Complex Environments). <https://doi.org/10.1117/12.258126> [in English].

12. Conner, M., & Eichmann, G. (1985). Multivalued logic for optical computing. In R. Arrathon (Ed.), *Optical Computing* (pp. 105–135) [in English].

13. Moraga, C. (1978). Complex spectral logic. In *Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Multiple-valued Logic*. (pp. 149–156) [in English].

14. Aizenberg, N. N., & Ivaskiv, Yu. L., Pospelov, D. A., Hudiakov, G. F. (1973). Multivalued threshold functions. Synthesis of multivalued threshold elements. *Cybernetics and Systems Analysis*, 9(1), 61–77 [in English].

15. Krasilenko, V. G., & Magas, A. T., Magas, O. T. (2000). Universal picture matrix multilevel logic elements of time-pulse type and aspects of their realization. In *Proceedings of the 7th STC MCDTP*, (pp. 31-34) [in Ukrainian].

16. Krasilenko, V. G., & Dubchak, V. N., Kyrychenko, V. V., Plahotniuk, V. V. (2001). Orhanizatsiia ta proektuvannia obchysliuvalnykh struktur matrychnoi kvaternarnoi znakorozriadnoi aryfmetiky [Organization and design of computing structures of matrix quaternary sign-bit arithmetic]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh – Measuring and computing equipment in technological processes*, (1), 146-150 [in Ukrainian].

17. Krasilenko, V. G., & Nikolsky, A. I., Voloshin, V. M., Zaitsev, A. (2001). Optical pattern recognition algorithms based on neural-logic equivalent models and demonstration of their prospects and possible implementations. In *Proceedings of SPIE*, (Vols. 4387), (pp. 247-260) [in English].

18. Krasilenko, V. G., & Dubchak, V. N., Kyrychenko, V. V., Plahotniuk, V. V. (2002). Napivhrupa masshtabiuchykh poslidovnostei ta yii predstavleniia binarnymy matrytsiamy [A semigroup of scaling sequences and its representation by binary matrices]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu im. M. Kotsiubynskoho – Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after M. Kotsyubynsky*, Volume 1: Physics and Mathematics, 321-326 [in Ukrainian].

19. Krasilenko, V. G., & Nikolsky, A. I., Lazarev, A. A., Lobodzinska, R. F. (2009). Design of neurophysiologically motivated structures of time-pulse coded neurons. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 7343), (pp. 256-263) [in English].

20. Krasilenko, V. G. (2007). Bahatorpohovi komparatory z synkhronnokerovanyam rehulivanniam porohiv [Multithreshold comparators with synchronously controlled threshold adjustment]. In *Materialy mizhn. konferentsii «Dynamika naykowych badan – 2007»*, *Tekhnichni nauky – In Materials of International conference «Dynamika naykowych badan – 2007»*, *Technical sciences*. (Vols. 1), (pp. 55-58). Przemysl: Nauka i studia [in Ukrainian].

21. Krasilenko, V. G., & Nikolsky, A. I., Lazarev, A. A. (2005). Design and applications of a family of optoelectronic photocurrent logical elements on the basis of current mirror and comparators. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 5948), (pp. 426-435) [in English].
22. Krasilenko, V. G., & Nikolskyi, O. I., Lazarev, O. O. (2009). Vdoskonalennia skhem dlia realizatsii uzahalnenykh operatsii ekvivalentnosti (neekvivalentnosti) neurobiolohiky [Improvement of schemes for implementation of generalized operations of equivalence (non-equivalence) of neurobiology]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, (2), 174-178 [in Ukrainian].
23. Krasilenko, V. G., & Kolesnitsky, O. K., Bogukhvalsky, A. K. (1995). Creation opportunities of optoelectronic continuous logic neural elements, which are universal circuitry macrobasis of optical neural networks. In *Proceedings of SPIE* (Vols. 2647), (pp. 208-217) [in English].
24. Jullien, A. (2020). Spatial light modulators. *Photoniques*, 101, 59–64. <https://doi.org/10.1051/photon/202010159> [in English].
25. Krasilenko, V. G., & Dubov, E. B., Yatskovskyi, V. I., Khudoliy, O. I. (2004). Alhorytm ta arkhitektura proektuvannia obchysliuvalnykh struktur matrychnoi kvaternarnoi znakorozriadnoi aryfmetryky [Algorithm and architecture of design of computational structures of matrix quaternary sign-bit arithmetic]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh – Measuring and computing technology in technological processes*, (1), 13-26 [in Ukrainian].
26. Krasilenko, V. G. (2003). Optoelektronni struktury matryts odnorozriadnykh protsesoriv chetverychnoi znakorozriadnoi aryfmetryky [Optoelectronic structures of matrices of single-bit processors of quadruple sign-bit arithmetic]. In *Zbirnyk prats mizhn. Sympoziumu – In Collected Works of the International of the symposium*. (pp. 218-232) [in Ukrainian].
27. Krasilenko, V. G., & Nikolsky, A. I., Lazarev, A. A., Michalnichenko, N. N. (2004). Smart time-pulse coding photoconverters as basic components 2D-array logic devices for advanced neural networks and optical computers. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 5439), (pp. 198-209) [in English].
28. Krasilenko, V. G., & Magas, A. T. (1999). Osnovy proektuvannia bahatofunktsionalnykh prystroiv matrychnoi bahatoznachnoi lohiky z shvydkym prohramovanyam nastroiuvanniam [Fundamentals of designing multifunctional devices of matrix multivalued logic with fast programmable tuning]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh – Measuring and computing technology in technological processes*, (4), 113-121 [in Ukrainian].
29. Krasilenko, V. G., & Nikolsky, A. I., Lazarev, A. A. (2004). The concept of biologically motivated time-pulse information processing for design and construction of multifunctional devices of neural logic. In *Proceedings of SPIE*. (Vols. 5421), (pp. 183-194) [in English].

Література:

1. Widrich M., Schäfl B., Ramsauer H., Pavlovic M., Gruber L., Holzleitner M., Brandstetter J., Sandve G. K., Greiff V., Hochreiter S., Klambauer G. Modern Hopfield Networks and Attention for Immune Repertoire Classification. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33: 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020), Vancouver, Canada, P. 18832–18845.
2. Smith J., Johnson A. A Review of Associative Memory Models for Neural Networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2023. Vol. 34, № 5. P. 1234–1246.
3. Krasilenko V. G., Magas A. T. Multiport optical associative memory based on matrix-matrix equivalentors. *Proceedings of SPIE*. Bellingham, WA. 1997. Vol. 3055. P. 137–146.
4. Krasilenko V. G., Lazarev A. A., Grabovlyak S. K. Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions. *Proceedings of SPIE*. Bellingham, WA. 2012. Vol. 8398. p. 83980N.

5. Onizawa N., Jarollahi H., Hanyu T., Gross W. J. Hardware implementation of associative memories based on multiple-valued sparse clustered networks. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*. 2016. Vol. 6, № 1. P. 13–24.
6. Krasilenko V. G. The structures of Optical Neural Nets Based on New Matrix – Tensor Equivalental Models (MTEMS) and Results of Modelling. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. 2010. Vol. 19. P. 31–38.
7. Krasilenko V. G., Lazarev A. A., Nikitovich D. V. Design and simulation of optoelectronic neuron equivalentors as hardware accelerators of self-learning equivalent convolutional neural structures (SLECNS). *Proceedings of SPIE*. 2018. Vol. 10689, Neuro-inspired Photonic Computing, 106890C. DOI: 10.1117/12.2316352.
8. Krasilenko V. G., Lazarev A. A., Nikitovich D. V. Design and simulation of array cells for image intensity transformation and coding used in mixed image processors and neural networks. *Proceedings of SPIE*. 2018. Vol. 10751, Optics and Photonics for Information Processing XII, 1075119. DOI:10.1117/12.2322655.
9. Krasilenko V. G., Nikolsky A. I., Krasilenko O. V., Nikolska M. A. Continuously logical complementary-dual equivalently analog-to-digital converters for the optical systems. *Proceedings of SPIE*. 2011. Vol. 8001, International Conference on Applications of Optics and Photonics, 800130. DOI:10.1117/12.892278.
10. Krasilenko V. G., Bogukhvalskiy A. K., Magas A. T. Equivalent models of neural networks and their effective optoelectronic implementations based on matrix multivalued elements. *Proceedings of SPIE*. 1997. Vol. 3055, International Conference on Optical Storage, Imaging, and Transmission of Information. DOI: 10.1117/12.267699.
11. Krasilenko V. G., Bogukhvalsky A. K., Magas A. T. Designing and simulation of optoelectronic neural networks with the help of equivalence models and multivalued logics. *Proceedings of SPIE*. 1996. Vol. 2824, Adaptive Computing: Mathematical and Physical Methods for Complex Environments. DOI: 10.1117/12.258126.
12. Conner M., Eichmann G. Multivalued logic for optical computing. *In Optical Computing*. Ed. R. Arrathon. New York: Marcel Dekker. 1985. P. 105–135.
13. Moraga C. Complex Spectral Logic. *Proceedings of the 8th IEEE International symposium on Multiple-valued Logic*. IEEE Computer Society Press. 1978. P. 149–156.
14. Aizenberg N. N., Ivaskiv Yu. L., Pospelov D. A., Hudiakov G. F. Multivalued Threshold Functions. Synthesis of Multivalued Threshold Elements. *Cybernetics and Systems Analysis*. 1973. Vol. 9, № 1, P. 61–77.
15. Krasilenko V. G., Magas A. T., Magas O. T. Universal picture matrix multilevel logic elements of time-pulse type and aspects of their realization. *Proceedings of the 7th STC MCDTP*, Khmelnytsky. 2000. P. 31–34.
16. Красиленко В.Г., Дубчак В.Н., Кириченко В.В., Плахотнюк В.В. Організація та проектування обчислювальних структур матричної кватернарної знакорозрядної арифметики. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2001. №1. С. 146-150.
17. Krasilenko V.G. Optical pattern recognition algorithms based on neural-logic equivalent models and demonstration of their prospects and possible implementations. *Proceedings of SPIE*. 2001. Vol. 4387. P. 247–260.
18. Красиленко В.Г., Дубчак В.Н., Яцковський В.І., Худолій О.І. Напівгрупа масштабуючих послідовностей та її представлення бінарними матрицями. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського*. 2002. Т. 1: Фізика і математика. С. 321–326.
19. Krasilenko V.G., Nikolsky A.I., Lazarev A.A., Lobodzinska R.F. Design of neurophysiologically motivated structures of time-pulse coded neurons. *Proceedings of SPIE*. 2009. Vol. 7343. P. 256–263.

20. Красиленко В.Г. Багатопорогові компаратори з синхроннокерованим регулюванням порогів. *Матеріали міжн. конференції «Динаміка наукових badan – 2007»*. Przemysl: Nauka i studia, T. 8. Технічні науки. С. 55–58.
21. Krasilenko V.G., Nikolsky A.I., Lazarev A.A. Design and applications of a family of optoelectronic photocurrent logical elements on the basis of current mirror and comparators. *Proceedings of SPIE*. 2005. Vol. 5948. P. 426–435.
22. Красиленко В.Г., Нікольський О.І., Лазарев О.О. Вдосконалення схем для реалізації узагальнених операцій еквівалентності (нееквівалентності) нейробиологіки. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2009. №2. С. 174–178.
23. Krasilenko V.G., Kolesnitsky O.K., Bogukhvalsky A.K. Creation opportunities of optoelectronic continuous logic neural elements, which are universal circuitry macrobasis of optical neural networks. *Proceedings of SPIE*. 1995. Vol. 2647. P. 208–217.
24. Jullien A. Spatial light modulators. *Photoniques*. 2020. Vol. 101. P. 59–64. DOI: 10.1051/photon/202010159.
25. Красиленко В.Г., Дубов Е.Б., Яцковський В.І., Худолий О.І. Алгоритм та архітектура проектування обчислювальних структур матричної кватернарної знакорозрядної арифметики. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2004. №1. С. 13–26.
26. Красиленко В.Г. Оптиелектронні структури матриць однорозрядних процесорів четверичної знакорозрядної арифметики. *Збірник праць міжн. симпозіуму*. Кам'янець-Подільський. 2003. С. 218–232.
27. Красиленко В.Г., Нікольський А.І., Лазарев А.А., Міхальніченко Н.М. Інтелектуальні фотоперетворювачі з часово-імпульсним кодуванням як базові компоненти 2D-матричних логічних пристроїв для сучасних нейронних мереж і оптичних комп'ютерів. *Праці SPIE*. 2004. Вип. 5439. С. 198–209.
28. Красиленко В.Г., Магас А.Т. Основи проектування багатофункціональних пристроїв матричної багатозначної логіки зі швидким програмованим налаштуванням. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 1999. №4. С. 113–121.
29. Красиленко В.Г., Нікольський А.І., Лазарев А.А. Концепція біологічно мотивованої часімпульсної обробки інформації для проектування та конструювання багатофункціональних пристроїв нейронної логіки. *Праці SPIE*. 2004. Вип. 5421. С. 183–194.