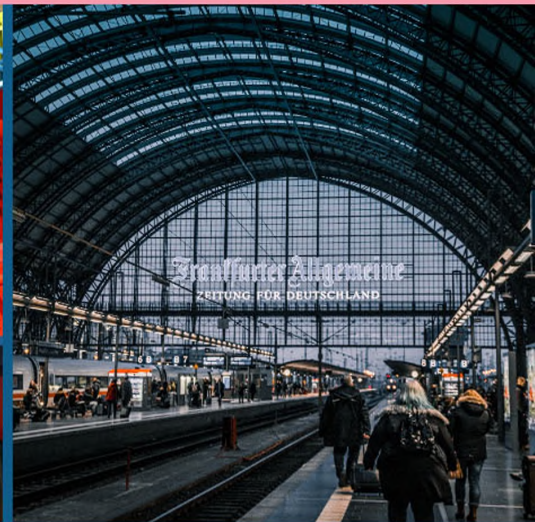




Наукові перспективи  
Видавнича група



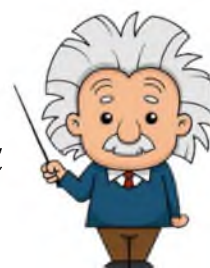
# MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

*v rámci publikační skupiny  
Scientific Publishing Group*

*Svazek LIII mezinárodní  
kolektivní monografie*



Česká republika  
2025



*Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. (Česká republika)*  
*Středoevropský vzdělávací institut (Bratislava, Slovensko)*  
*Národní institut pro ekonomický výzkum (Batumi, Gruzie)*  
*Al-Farabi Kazakh National University (Kazachstán)*  
*Institut filozofie a sociologie Ázerbájdžánu Národní akademie věd*  
*(Baku, Ázerbájdžán)*  
*Institut vzdělávání Ázerbájdžánské republiky (Baku, Ázerbájdžán)*  
*Batumi School of Navigation (Batumi, Gruzie)*  
*Regionální akademie managementu (Kazachstán)*  
*Veřejná vědecká organizace „Celokrajinské shromáždění lékařů ve veřejné*  
*správě“ (Kyjev, Ukrajina)*  
*Nevládní organizace „Sdružení vědců Ukrajiny“ (Kyjev, Ukrajina)*  
*Univerzita nových technologií (Kyjev, Ukrajina)*  
*Mezinárodní poradenská společnost "Sidcon" (Kyjev, Ukrajina)*  
*Evropské lyceum "Vědecké perspektivy" (Kyjev, Ukrajina)*

*v rámci publikační skupiny Publishing Group „ Vědecká perspektiva “*

# MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

*Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie*

Česká republika  
2025

*International Economic Institute s.r.o. (Czech Republic)*  
*Central European Education Institute (Bratislava, Slovakia)*  
*National Institute for Economic Research (Batumi, Georgia)*  
*Al-Farabi Kazakh National University (Kazakhstan)*  
*Institute of Philosophy and Sociology of Azerbaijan National Academy of  
Sciences (Baku, Azerbaijan)*  
*Institute of Education of the Republic of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)*  
*Batumi Navigation Teaching University (Batumi, Georgia)*  
*Regional Academy of Management (Kazakhstan)*  
*Public Scientific Organization "Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in  
Public Administration" (Kyiv, Ukraine)*  
*Public Organization Organization "Association of Scientists of Ukraine"  
(Kyiv, Ukraine)*  
*University of New Technologies (Kyiv, Ukraine)*  
*International Consulting company "Sidcon" (Kyiv, Ukraine)*  
*European Lyceum "Scientific Perspectives" (Kyiv, Ukraine)*

*within the Publishing Group "Scientific Perspectives"*

# **MODERN ASPECTS OF SCIENCE**

*53-th volume of the international collective monograph*

Czech Republic  
2025

<https://doi.org/10.52058/53-2025>

ISBN 978-617-95474-1-6

UDC 001.32: 1/3] (477) (02)

C91

Vydavatel:

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.  
se sídlem V Lázních 688, Jesenice 252 42  
IČO 03562671 Česká republika  
Zveřejněno rozhodnutím akademické rady

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. (Zápis č. 163/2025 ze dne 7. Frar 2025)



Monografie jsou indexovány v mezinárodním vyhledávači Google Scholar

**Recenzenti:**

- Karel Nedbálek** - doktor práv, profesor v oboru právo (Zlín, Česká republika)  
**Markéta Pavlova** - ředitel, Mezinárodní Ekonomický Institut (Praha, Česká republika)  
**Iryna Zhukova** - kandidátka na vědu ve veřejné správě, docentka (Kyjev, Ukrajina)  
**Savvas Mavridis** - profesor na Mezinárodní řecké univerzitě v oddělení marketingu a cestovního ruchu, Veřejná instituce  
(Sit Thessaloniki, Greece)  
**Yevhen Romanenko** - doktor věd ve veřejné správě, profesor, ctěný právník Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)  
**Humeir Huseyn Akhmedov** - doctor of pedagogical sciences, professor (Baku, Azerbaijan);  
**Oleksandr Datsiy** - doktor ekonomie, profesor, čestný pracovník školství na Ukrajině (Kyjev, Ukrajina)  
**Jurij Kijkov** - doktor informatiky, dr.h.c. v oblasti rozvoje vzdělávání (Teplice, Česká republika)  
**Vladimír Bačíšín** - docent ekonomie (Bratislava, Slovensko)  
**Peter Ošváth** - docent práva (Bratislava, Slovensko)  
**Oleksandr Nepomnyashy** - doktor věd ve veřejné správě, kandidát ekonomických věd, profesor, řádný člen Vysoké školy  
stavební Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)  
**Dina Dashevská** - geolog, geochemik Praha, Česká republika (Jeruzalém, Izrael)

**Tým autorů**

C91 Moderní aspekty vědy: LIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025. str. 639

Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie obsahuje publikace o: utváření a rozvoji teorie a historie veřejné správy; formování regionální správy a místní samosprávy; provádění ústavního a mezinárodního práva; finance, bankovníctví a pojišťovnictví; duševní rozvoj osobnosti; rysy lexikálních výrazových prostředků imperativní sémantiky atd.

*Materiály jsou předkládány v autorském vydání. Autoři odpovídají za obsah a pravopis materiálů.*



## OBSAH

### PŘEDMLUVA

### ODDÍL 1. VEŘEJNÁ SPRÁVA

*§1.1 САНКЦІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ В УМОВАХ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ (Романенко Є.О., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Гурковський В.І., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Дмитрук С.Ф., Центр досліджень проблем публічного управління).....12*

*§1.2 ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ВИЗНАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙ ТЕРОРИСТИЧНИМИ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ЗАКОНОДАВСТВІ УКРАЇНИ (Романенко Є.О., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Гурковський В.І., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Ліневич М.М., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України).....25*

*§1.3 МОБІЛІЗАЦІЯ В УМОВАХ ШИРОКОМАСШТАБНОЇ ВІЙНИ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ (Романенко Є.О., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Гурковський В.І., Центральный науково-дослідний інститут Збройних Сил України).....43*

*§1.4 РОЛЬ ОСВІТИ У ФОРМУВАННІ ЛІДЕРСЬКИХ ЯКОСТЕЙ ПУБЛІЧНИХ СЛУЖБОВЦІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ (Чумакова Г.В., Одеський національний технологічний університет).....55*

### ODDÍL 2. EKONOMIKA A ŘÍZENÍ PODNIKU

*§2.1 STRATEGIC DIRECTIONS FOR IMPROVING THE MANAGEMENT OF ECONOMIC SECURITY IN AN AGRICULTURAL ENTERPRISE (Pylypenko V., Sumy National Agrarian University, Pylypenko N., Sumy National Agrarian University, Pershyn V., Sumy National Agrarian University).....65*



- §2.2 ASSESSMENT OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES AND ITS INNOVATIVENESS (Yemelyanov O.Yu., Lviv Polytechnic National University, Havras D.R., Lviv Polytechnic National University).....83
- §2.3 ЕКОНОМІЧНА СТІЙКІСТЬ У СИСТЕМІ ДЕТЕРМІНАНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ КРАЇН-ЧЛЕНІВ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ (Буряк Ю.О., Львівський національний університет імені Івана Франка).....95
- §2.4 ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ РИНКУ ПРАЦІ РЕГІОНУ (Мірошніченко (Альошина) Т.В., Дніпровський державний університет внутрішніх справ).....120
- §2.5 ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ПІДПРИЄМНИЦТВА В УКРАЇНІ (Піскун А.В., Одеський національний економічний університет).....147

### ODDÍL 3.

#### PEDAGOGIKA, VÝCHOVA, FILOZOFIE, FILOLOGIE.....

- §3.1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ В УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ ПРОФЕСІЙНИХ ЦІННІСНИХ ОРІЄНТАЦІЙ У ЗАКЛАДАХ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ (Абрамов Д.О., Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Стрельников В.Ю., Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Полтавська академія неперервної освіти ім. М. В. Остроградського).....164
- §3.2 ІНТЕГРАЦІЙНА СФОРМОВАНІСТЬ ЕМОЦІЙНО-ЦІННІСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ХУДОЖНЬО-ІНТЕРПРЕТАЦІЙНОГО КОМПОНЕНТА НАРОДНОГО МУЗИЧНОГО МИСТЕЦТВА (Бухнієва О.А., Ізмаїльський державний гуманітарний університет, Ван Ченьсі Ізмаїльський державний гуманітарний університет).....174
- §3.3 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ІННОВАЦІЙНОГО СВІТОГЛЯДУ ЩОДО НАУК ПРО ЦАРСТВО РОСЛИН (Ключевич М.М., Державний університет «Житомирська політехніка», Вигера С.М., Державний університет «Житомирська політехніка», Можарівська І.А., Державний університет «Житомирська політехніка», Ковальчук Р.Л., Good Food Institute Ukraine (Інститут Доброї Їжі Україна).....184



§3.4 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ТОЛЕРАНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ЗАКЛАДІВ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ МАГІСТРАТУРИ (**Мисан К.Л.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», **Стрельніков В.Ю.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Полтавська академія неперервної освіти ім. М. В. Остроградського).....195

§3.5 ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ПЕДАГОГА ЗАКЛАДУ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ МАГІСТРАТУРИ (**Місько В.В.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», **Стрельніков В.Ю.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Полтавська академія неперервної освіти ім. М. В. Остроградського).....205

§3.6 ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ ПРОЄКТУВАЛЬНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ЗАКЛАДІВ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ В ПРОЦЕСІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ (**Опошнян О.І.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», **Стрельніков В.Ю.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Полтавська академія неперервної освіти ім. М. В. Остроградського).....215

§3.7 ПЕДАГОГІЧНИЙ СУПРОВІД СТАНОВЛЕННЯ НАВИЧОК МАЙБУТНІХ ВИХОВАТЕЛІВ З ФОРМУВАННЯ ОСНОВ СЕНСОРНО-ПІЗНАВАЛЬНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МОЛОДШИХ ДОШКІЛЬНИКІВ (**Пономаренко Т.О.**, Київський столичний університет імені Бориса Грінченка).....225

§3.8 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ЗАКЛАДІВ ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТИ (**Пустяк Р.А.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», **Стрельніков В.Ю.**, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», Полтавська академія неперервної освіти ім. М. В. Остроградського).....236

§3.9 СТРУКТУРИ КООПЕРАТИВНОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ЕТИКО-ДЕОНТОЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ (**Сачук О.В.**, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця).....245



- §3.10 ОСОБЛИВОСТІ ГУСТАТИВІВ У ТВОРАХ ДЛЯ ДИТЯЧОГО  
ЧИТАННЯ В СУЧАСНІЙ УКРАЇНСЬКІЙ ЛІТЕРАТУРІ (Тендітна Н.М.,  
Донбаський державний педагогічний університет).....267
- §3.11 МЕДИКО-ФАРМАЦЕВТИЧНА ЛЕКСИКА В СУЧАСНОМУ  
ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРІ (Ткач А.В., Буковинський  
державний медичний університет).....277
- §3.12 ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ  
МАЙБУТНІХ МАГІСТРІВ СТОМАТОЛОГІЇ: У ФОКУСІ УВАГИ -  
КЛІНІЧНЕ МИСЛЕННЯ (Кульбашна Я.А., Національний  
медичний університет імені О.О.Богомольця).....288

#### ODDÍL 4. LÉKAŘSKÉ VĚDY

- §4.1 STUDY AND CHARACTERIZATION OF HIGHER CARBOXYLIC  
ACIDS OF BLUEBERRY SEED OIL (*VACCINIUM MYRTILLUS L.*)  
(Osyp Yu., Lesya Ukrainka Volyn National University, Osyp M.,  
Higher Education "Lutsk Pedagogical College" of the Volyn Regional  
Council).....298
- §4.2 МЕТАБОЛІЧНІ АСПЕКТИ ДИСГАРМОНІЙНОГО ФІЗИЧНОГО  
РОЗВИТКУ ДІТЕЙ ТА ЇХ КОРЕКЦІЯ (Щербатюк Н.Ю., ТНМУ  
імені І. Я. Горбачевського).....307

#### ODDÍL 5. CESTOVNÍ RUCH

- §5.1 КЛЮЧОВІ ДРАЙВЕРИ РОЗВИТКУ ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ  
ТА СВІТІ (Кондрацька Л.П., Західноукраїнський національний  
університет).....320

#### ODDÍL 6. TECHNICKÉ VĚDY

- §6.1 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО  
РОЗПОДІЛУ ТА ДОЗУВАННЯ ІНГІБІТОРІВ ГІДРАТУТВО-  
РЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
(Борин В.С., Івано-Франківський національний технічний уні-  
верситет нафти і газу, Маліборський І.В., Івано-Франківський  
національний технічний університет нафти і газу).....333



§6.2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ (Вакуленко Ю.В., Полтавський державний аграрний університет).....345

§6.3 ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМИ МІЖНАРОДНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ: ВІД ПЕРШИХ НОРМ ДО СУЧАСНИХ ISO (Кисельова О.І., Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Грабовський О.В., Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Габер А.А., Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку).....393

§6.4 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ (Плехова Г.А., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Шкнай О.В., Науково-дослідний інститут військової розвідки, Протас Н.М., Полтавський державний аграрний університет, Налапко О.Л., Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Возниця А.С., Державне некомерційне підприємство Державний університет “Київський авіаційний інститут”, Шишацький А.В., Державне некомерційне підприємство Державний університет “Київський авіаційний інститут”).....407

§6.5 НУТ – РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ДЛЯ УКРАЇНСЬКОЇ КРУП'ЯНОЇ ГАЛУЗІ (Соц С.М., Одеський національний технологічний університет, Кустов І.О., Одеський національний технологічний університет, Буценко І.І., Одеський національний технологічний університет).....448

## ODDÍL 7. PRÁVNÍ VĚDY

§7.1 VIOLATIONS OF FIRE OR TECHNOGENIC SAFETY: SOME PROBLEMATIC ASPECTS (Pavlenko T., H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Popov V., Zviahel Polytechnic Applied College).....460

§7.2 ПАРЛАМЕНТСЬКИЙ КОНТРОЛЬ В СИСТЕМІ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ (АДМІНІСТРУВАННЯ) В УКРАЇНІ (Ланде Д.В., Державна наукова установа «Інститут інформації, безпеки і права Національної Академії Правових Наук України», Корж І.Ф., Державна наукова установа «Інститут інформації, безпеки і права Національної Академії Правових Наук України»).....479



## ODDÍL 8. PSYCHOLOGIE

- §8.1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ АСПЕКТІВ ПІДГОТОВКИ МОЛОДІ ДО СІМЕЙНОГО ЖИТТЯ (Купчишина В.Ч., Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Грубі Т.В., Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Чистяков С.А., Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького).....497
- §8.2 ПСИХОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА РОДИН ДО РЕІНТЕГРАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ПІСЛЯ ВІЙНИ (Лупанов К.В., Державний некомерційне підприємство "Державний університет "Київський авіаційний інститут").....510
- §8.3 СУБ'ЄКТНІСТЬ ОСОБИСТОСТІ: СПРОБА СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ (Прищак М.Д., Вінницький національний технічний університет).....522

## ODDÍL 9. LITERÁRNÍ VĚDY

- §9.1 ІНТЕРМЕДІАЛЬНІСТЬ ЗБІРКИ «УЗДОВЖ ОКЕАНУ НА РОБЕРІ» ВАСИЛЯ МАХНА (Ганченко А.Ю., Одеський національний університет імені І. І. Мечникова).....559

## ODDÍL 10. PENÍZE, FINANCE A ÚVĚR

- §10.1 GLOBAL TRENDS IN THE FORMATION OF INFORMATION RESOURCES IN THE CONTEXT OF LAND TAX ADMINISTRATION (Desyatnyuk O.M., West Ukrainian National University, Krysovaty A.I., West Ukrainian National University, Tkachyk F.P., West Ukrainian National University).....571

## ODDÍL 11. HISTORIE A ARCHEOLOGIE

- §11.1 ФОРМИ І СПОСОБИ ВИКОНАННЯ БОЙОВИХ ЗАВДАНЬ ВІЙСЬКОВИМИ ФОРМУВАННЯМИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ У ВОЄННИХ КОНФЛІКТАХ 1950 – ПЕРШОЇ ПОЛОВИНИ 1960 рр. (Кришній П.І., Національний університет оборони України).....585



## ODDÍL 12. INFORMATIKA

§12.1 СУЧАСНІ МЕТОДИ РОБОТИ З БІБЛІОГРАФІЧНИМИ ДАНИМИ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА (Василенко О.О., ПВНЗ Український гуманітарний інститут).....595

## ODDÍL 13. INFORMAČNÍ TECHNOLOGIE

§13.1 РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА OLAP СИСТЕМУ ХМАРО ОРІЄНТОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ РАНГОВОГО ПІДХОДУ ДО РІШЕННЯ ЗАДАЧИ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ З БУЛЕВИМИ ЗМІННИМИ (Третяк В.Ф., Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Воронін В.В., Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Афанасьєв В.В., Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Крук Б.М., Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Охрамович М.М., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Коваль М.О., Київський національний університет імені Тараса Шевченка).....609

## ODDÍL 14. MODERNÍ LETECKÉ TECHNOLOGIE

§14.1 АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВІАДВИГУНІВ (Кирилаха С.В., Національний університет «Запорізька політехніка»)....629



## Шановні колеги!



Раді вітати вас – провідних фахівців і початківців, представників науки і освіти, дослідників і авторів із виходом у світ LIII-го тому міжнародної колективної монографії міждисциплінарного напрямку "MODERNÍ ASPEKTY VĚDY".

Монографія має свої персональні номери ISBN, УДК, ББК, присвоєно DOI.

Публікація кожного тому міжнародного видання дає змогу отримати цінні знання та навички для ефективного управління проектами і вирішення

складних професійних завдань.

Бажаємо Вам міцного здоров'я, матеріального благополуччя та мирного неба над усією Україною !

**З повагою,**

**директор Видавничої групи «Наукові перспективи»,  
кандидат наук з державного управління, доцент,  
Лауреат премії Президента України для молодих вчених,  
Лауреат премії Верховної Ради України  
молодим ученим**

**Ірина ЖУКОВА**



*§6.2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ (Вакулєнко Ю.В., Полтавський державний аграрний університет)*

**1. Аналіз переваг та недоліків методів представлення знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень**

Проведемо аналіз переваг та недоліків методів представлення знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

Логічна модель використовується для представлення знань у системі логіки предикатів першого порядку та виведення висновків за допомогою силогізму [1–10].

Основна перевага використання логіки предикатів для представлення знань полягає в тому, що потужний механізм виведення, що володіє добре зрозумілими математичними властивостями, може бути безпосередньо запрограмований. За допомогою цих програм з відомих раніше знань можна отримати нові знання. Відмінними рисами логічних моделей є однозначність теоретичного обґрунтування та можливість реалізації системи формально точних визначень та висновків. Основна ідея при побудові логічних моделей знань полягає в наступному – вся інформація, необхідна для вирішення прикладних завдань, розглядається як сукупність фактів і тверджень, які подаються як формули в деякій логіці. Знання відображаються сукупністю таких формул, а отримання нових знань зводиться до реалізації процедур логічного висновку [11–22].

Основні переваги логічних моделей знань [23–34]:

як основа в логічних моделях використовується класичний апарат математичної логіки, методи якої досить добре вивчені та формально обґрунтовані;



## MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

*Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie*

існують досить ефективні процедури виведення, у тому числі реалізовані за допомогою мови логічного програмування;

у базах знань можна зберігати лише множини аксіом, проте інші знання отримувати з них за правилами висновку.

**Фреймова модель.** Фреймова модель або модель уявлення знань, є систематизованою моделлю пам'яті людини та її свідомості.

Фрейми мають вигляд структурованих компонентів ситуацій, які називаються слотами. Слот може вказувати на інший фрейм, встановлюючи таким чином зв'язок між двома фреймами. Можуть встановлюватись загальні зв'язки типу зв'язку зі спілкуванням. З кожним фреймом асоціюється різноманітна інформація (у тому числі і процедури), наприклад, очікувані процедури ситуації, способи отримання інформації про слоти, значення, що приймаються за умовчанням, правила виведення. Перевага фрейму – представлення багато в чому ґрунтуються на включенні до нього припущень та очікувань. Це досягається за рахунок присвоєння за умовчанням слотам кадру стандартних ситуацій. У процесі пошуку рішень ці значення можуть бути замінені достовірнішими. Деякі змінні виділені таким чином, що про їх значення система має запитати користувача. Для багатьох предметних областей кадрові моделі є основним способом формалізації знань [35–43].

**Семантичні мережі.** Семантична мережа – це орієнтована графова структура, кожна вершина якої відображає деяке поняття (об'єкт, процес, ситуацію), а ребра графа відповідають відносинам типу “це є”, “належати”, “бути причиною”, “входити в”, “складатися з”, “бути як” і аналогічним між парами понять. На семантичних мережах використовуються спеціальні процедури виведення: поповнення мережі, успадкування властивостей, пошук за зразком та ін. Характерна особливість семантичних мереж – наявність трьох типів відносин: клас – елемент класу (частина – ціле, клас –



підклас, елемент – множина тощо); властивість – значення (мати властивість, мати значення тощо); приклад елемента класу (елемент за, елемент під, раніше, пізніше та ін.).

Переваги семантичних мереж – наочність представлення знань, за допомогою яких зручно представляти причинно-наслідкові зв'язки між елементами (підсистемами), і навіть структуру складних систем. Недолік таких мереж – складність виведення, пошуку підграфа, що відповідає запиту [44–52].

**Продукційна модель.** Нині експертними системами найбільш широко застосовуваного типу є системи, засновані на правилах. У системах, що ґрунтуються на правилах, знання представлені не за допомогою декларативного, статичного способу (як ряд істинних тверджень), а у формі численних правил, які вказують на висновки, що мають бути зроблені чи не зроблені у різних ситуаціях. Система, заснована на правилі, що складається з правил “IF-THEN”, фактів та інтерпретатора, який управляє тим, яке правило має бути викликане в залежності від наявності фактів у робочій пам'яті [50–61].

Класична експертна система втілює у собі неформальні знання, які мають бути отримані від експерта. Такий процес створення експертної системи називається інженерією знань та здійснюється інженером згідно до знань. Робоча пам'ять може містити факти щодо поточного стану об'єкта. Правило, всі шаблони якого задоволені, називається активізованим або реалізованим. У робочому списку правил може бути присутнім кілька активізованих правил. У цьому випадку машина логічного виводу повинна вибрати одне із правил для запуску. Після частини THEN правила знаходиться список дій, які мають бути виконані після запуску правила. Машина логічного висновку працює в режимі здійснення циклів перевірки та виконання правил. Протягом кожного циклу можуть бути активізовані та



поміщені до робочого списку правил численні правила. Широке застосування систем, заснованих на правилах, обумовлено наведеними нижче причинами:

модульна організація, завдяки такій організації спрощується представлення знань та розширення експертної системи за методом інкрементної розробки. Наявність засобів пояснення. Такі експертні системи дозволяють легко створювати засоби пояснення за допомогою правил, оскільки антецеденти правила вказують, що необхідно для активізації правила. Засіб пояснення дозволяє стежити за тим, запуск яких правил було здійснено, тому дає можливість відновити перебіг міркувань, що призвели до певного висновку. Наявність аналогії з пізнавальним процесом людини. Згідно з результатами, отриманими Ньюеллом і Саймоном, правила є природний спосіб процесу розв'язання задач людиною. А при здійсненні спроби виявити знання, які мають експерти, простіше пояснити експертам структуру подання знань, оскільки застосовується просте уявлення правил [62–86].

### ***Нечіткі експертні системи.***

У основі функціонування експертних систем лежить модель знань [9]. Вона містить набір принципів, які описують стан та поведінку об'єкта дослідження. Найбільш широко застосовуваною моделлю знань експертних систем є продукційна модель, оскільки вона досить проста в обробці та зрозумілості кінцевого користувача. Однак останнім часом великого поширення набувають нечіткі експертні системи [11]. Даний тип експертних систем базується на наборі правил, в яких використовуються лінгвістичні змінні та нечіткі відносини для опису стану та поведінки об'єкта, що досліджується [12]. Правила, представлені у такому вигляді, найбільш наближені до природної мови, тому немає необхідності використання окремого фахівця інженера зі знань для створення та редагування правил. Вони можуть бути редаговані самим екпертом практично без спеціальної



підготовки. Також результати роботи таких систем видаються обмеженою природною мовою, що підвищує їх ступінь адаптації до кінцевого користувача. Розглянемо дані організацію нечітких експертних систем докладніше. Нечітка експертна система використовує представлення знань у формі нечітких продукцій та лінгвістичних змінних [13]. Кожна лінгвістична змінна визначається за допомогою своєї терм-множини, що складається з нечітких змінних [14].

**Нечітка змінна.** Поняття нечіткої змінної використовується при описі об'єктів і явищ за допомогою нечітких множин, тобто множин, належність конкретного елемента до яких задається згідно з певною функцією приналежності  $\mu_z(u)$ , що характеризує ступінь відношення значення змінної  $u$  до множини  $z$  [15, 17, 18]. Будь-яка нечітка змінна характеризується трійкою  $\langle z, U, Z \rangle$ , де  $z$  – назва змінної,  $U$  – універсальна множина,  $Z$  – нечітка підмножина множини  $U$ , що є нечітким обмеженням значення змінної  $u \in U$ , обумовлене  $z$  [19].

Лінгвістична змінна. В основі правил роботи нечітких експертних систем лежить поняття лінгвістичної змінної [15]. Кожна лінгвістична змінна має набір значень – це нечіткі змінні, які утворюють її терм-множину [6, 14].

Лінгвістична змінна  $L$  характеризується наступним набором властивостей

$$L = (X, T(X), U, G, M), \quad (1)$$

де  $X$  – назва змінної;  $T(X)$  – терм-множина змінної  $X$ , тобто множину назв лінгвістичних значень змінної  $X$ , причому кожне з таких значень є нечіткою змінною ( $x'$ ) зі значеннями з універсальної множини  $U$  з базовою змінною  $u$ ;  $G$  – синтаксичне правило, що породжує назви значень змінної  $X$ ;  $M$  – семантичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній  $x'$  її сенс  $M(x')$ , тобто. нечітке підмножина  $M(x')$  універсальної множини  $U$ .



### Нечітка база правил експертної системи

Поведінка досліджуваної системи описується обмеженою природною мовою в термінах лінгвістичних змінних [17, 18]. Вхідні та вихідні параметри системи розглядаються як лінгвістичні змінні, а опис процесу задається набором правил [9, 10]. Формальна модель бази правил розробленої експертної системи має вигляд [11, 12]:

$$\begin{aligned} R_1 &: A_{1,1}ma / \text{або} A_{1,2}ma / \text{або} \dots ma / \text{або} A_{1,m_1} \rightarrow B_{1,1}ma / \text{або} \dots ma / \text{або} B_{1,k_1}, \\ R_2 &: A_{2,1}ma / \text{або} A_{2,2}ma / \text{або} \dots ma / \text{або} A_{2,m_2} \rightarrow B_{2,1}ma / \text{або} \dots ma / \text{або} B_{2,k_2}, \\ R_n &: A_{n,1}ma / \text{або} A_{n,2}ma / \text{або} \dots ma / \text{або} A_{n,m_n} \rightarrow B_{n,1}ma / \text{або} \dots ma / \text{або} B_{n,k_n}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $A_{i,j}, i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m_i$  – нечіткі висловлювання, визначені на значеннях вхідних лінгвістичних змінних, а де  $B_{i,q}, i=1,2,\dots,n, q=1,2,\dots, k_i$  – нечіткі висловлювання, визначені на значеннях вихідних лінгвістичних змінних.

У загальному випадку, нечітке виведення рішення відбувається за чотири етапи [13 – 15]:

1. етап фазифікації (перетворення за допомогою функцій приналежності  $\chi$  точних вхідних даних на нечіткі значення лінгвістичних змінних);
2. етап безпосереднього нечіткого висновку (на підставі набору правил нечіткої бази знань обчислюється значення істинності для умов кожного правила за правилами обчислення Т-норм, Т-конорм та заперечень);
3. етап композиції (формується значення вихідних лінгвістичних змінних для кожного правила, що спрацювало);
4. етап дефазифікації (перетворення нечітких значень вихідних лінгвістичних змінних у точні значення).

### Нечіткий логічний висновок

Розглянемо етапи нечіткого висновку рішення докладніше [19]:

*Етап фазифікації.* За допомогою функцій належності всіх термів вхідних лінгвістичних змінних і на підставі чітких значень, що задаються, з



універсумів вхідних лінгвістичних змінних визначаються ступеня впевненості в тому, що вихідна лінгвістична змінна набуває конкретного значення [11, 12].

*Етап безпосереднього нечіткого висновку.* З набору правил (нечіткої бази знань) обчислюється значення істинності для кожного правила виходячи з конкретних нечітких операцій, відповідних кон'юнкції чи диз'юнкції термів у лівій частині правил. Найчастіше це максимум або мінімум зі ступенів впевненості термів, обчислених на етапі фазифікації, що застосовується до укладання кожного правила. Використовуючи один із способів побудови нечіткої імплікації, формується нечітка змінна, що відповідає обчисленому значенню ступеня впевненості в лівій частині правила та нечіткій множині у правій частині правила [13, 14].

*Етап композиції (агрегації, акумуляції).* Всі нечіткі множини, призначені для кожного терму кожної вихідної лінгвістичної змінної, об'єднуються разом і формується єдина нечітка множина - значення для кожної лінгвістичної змінної, що виводиться. Зазвичай використовуються функції максимуму чи підсумовування [15, 16].

*Етап дефазифікації.* Використовується тоді, коли корисно перетворити нечіткий набір значень лінгвістичних змінних, що виводяться, до точного. Є досить багато методів переходу до точних. Найчастіше використовуються метод повної інтерпретації та метод інтерпретації по максимуму. У методі повної інтерпретації точне значення змінної, що виводиться, обчислюється як значення "центру тяжкості" функції приналежності для нечіткого значення. У методі максимуму - в якості точного значення змінної, що виводиться, приймається максимальне значення функції приналежності [17 – 19].

Найбільші обчислювальні витрати з'являються на етапі нечіткого логічного висновку. У зв'язку з цим у роботі розглядається запропонований



спосіб прискорення пошуку рішення (етапі нечіткого логічного висновку) [10, 11].

### Завдання прискорення пошуку рішення у нечітких експертних системах

Для формулювання постановки завдання прискорення пошуку рішення запроваджується визначення однієї ітерації логічного висновку [12, 13]. Пропонується подати її у вигляді функції  $F$ , яка перетворює безліч умов у безліч наслідків і має вигляд:

$$F : \{A_{1,1}, A_{1,2}, \dots, A_{1,m_1}, A_{i,1}, A_{i,2}, \dots, A_{i,m_i}, A_{n,1}, A_{n,2}, \dots, A_{n,m_n}\} \rightarrow \\ \rightarrow \{B_{1,1}, B_{1,2}, \dots, B_{1,k_1}, B_{i,1}, B_{i,2}, \dots, B_{i,k_i}, B_{n,1}, B_{n,2}, \dots, B_{n,k_n}\} \quad (3)$$

Завдання прискорення пошуку рішення полягає в мінімізації обчислень, що здійснюються при обробці матриці умов  $A$  нечітких правил, тобто у побудові безлічі нечітких умов  $A^*$ , що  $|A^*| < |A|$ , за умови збереження результату, саме: якщо  $F(A) \rightarrow B$ , то  $F(A^*) \rightarrow B$ .

Прискорення пошуку рішення можна досягти двома способами [14 – 16].

1. Виняток деяких правил із обробки.

Припустимо, що виключаються правила  $i_1, i_2, \dots, i_s$ . В цьому випадку:

$$|A^*| = |A| - \sum_{t=1}^s (m_{it}) \quad (4)$$

2. Пошук однакових умов та виключення їх повторного обчислення.

Допустимо у базі знань знайдено  $p$  відповідностей між умовами виду  $A_{i,j} = A_{v,w}$ , де  $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m_n, v = 1, 2, \dots, n, w = 1, 2, \dots, m_n$ . Тоді:

$$|A^*| = |A| - p \quad (5)$$

Вихідними даними для способу, що розробляється, є правила з нечіткої бази правил.

Встановлено наступне:

наведені в дослідженні методи (моделі, підходи) до представлення знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень в каноніч-



ному вигляді не доцільно використовувати по ряду об'єктивних причин наведених в розділі 3 дослідження;

необхідно провести розробку нових (удосконалення існуючих) представлення знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, які будуть мати переваги даних підходів без їх недоліків.

Напрямок подальших досліджень слід вважати подальше удосконалення зазначених підходів для зменшення кількості недоліків і обмежень їх застосування.

### **1. Вступ**

Методи обчислювального інтелекту використовуються для вирішення множини складних завдань як суто наукових, так і у сфері техніки, бізнесу, фінансів, медичної та технічної діагностики, інших галузях Це пов'язано з обробкою інформації, включаючи інтелектуальний аналіз даних (Data Mining), динамічний аналіз даних (Dynamic Data Mining), аналіз потоків даних (Data Stream Mining) тощо [1–6].

Зростання обсягів інформації, що циркулює в різноманітних системах збору, обробки та передачі інформації призводить до значного використання обчислювальних ресурсів апаратних засобів. Збройні сили технічно розвинених країн мають інтегровані архітектури прийняття рішень, що базується на [7–15]:

- штучному інтелекті та нанотехнологіях;
- ефективній обробці великих масивів інформації;
- технологіях стиснення даних для підвищення швидкості їх обробки.

При цьому використання інформаційних систем з елементами штучного інтелекту дозволить підвищити ефективність планування, ведення операцій (бойових дій) та їх всебічного забезпечення, вплине на доктрину, організацію та способи застосування угруповань військ (сил).



Разом з тим підвищення динамічності операцій (бойових дій), зростання кількості різноманітних сенсорів та необхідність інтеграції їх у єдиний інформаційний простір створює ряд проблем:

- реалізовані алгоритми встановлення кореляцій між подіями недостатньо повно враховують надійність джерел розвідувальних відомостей і достовірність інформації в динаміці операцій (бойових дій);
- форми представлення інформації ускладнюють її передачу по каналам зв'язку;
- обмежені обчислювальні потужності апаратних засобів;
- радіоелектронне придушення каналів радіозв'язку та кібернетичний вплив на інформаційні системи;
- перехід до принципу оцінки об'єктів моніторингу “усе впливає на все й відразу”, яке охоплює сукупні мережні та обчислювальні ресурси всіх видів збройних сил.

Саме тому, необхідно проводити розробку алгоритмів (методів та методик) які здатні за обмежений час та з високим ступенем достовірності провести вирішення оптимізаційних задач від різнотипних джерел розвідувальних відомостей.

Проблема яку необхідно вирішити в дослідженні є підвищення оперативності вирішення оптимізаційних задач при забезпеченні заданої достовірності.

Враховуючи зазначене, актуальним науковим завданням є удосконалення методів оптимізації на основі біоінспірованих алгоритмів, які б дозволили підвищити оперативність прийнятих рішень щодо управління параметрами об'єкту управління з заданою достовірністю.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Проведення аналізу праць [9–50] показав що спільними недоліками вищезазначених досліджень є:

- відсутність можливості формування ієрархічної системи показників;



- відсутність врахування обчислювальних ресурсів системи;
- відсутність механізмів корегування системи показників в ході оцінювання;
- відсутність врахування типу невизначеності та зашумленості даних про стан об'єкту управління, що створює відповідні похибки при оцінюванні його реального стану;
- відсутність механізмів глибокого навчання баз знань;
- велика обчислювальна складність;
- відсутність врахування обчислювальних (апаратних) ресурсів, доступних в системі;
- відсутність пріоритетності пошуку в певному напрямку.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є розробка сукупності методів оптимізації на основі біоіспірованих алгоритмів. Моделювання проводилося з використанням програмного забезпечення MathCad 2014 (США) та ПЕОМ AMD Ryzen 5000 series (США).

### **4. Розробка сукупності методів оптимізації на основі біоіспірованих алгоритмів**

#### **4.1 Розробка методу параметричної оптимізації на основі удосконаленого алгоритму зграї вовків**

Дано:  $I = \{1, \dots, n\}$  – множина точок, матриця  $(c_{ij})$  – попарні відстані між точками  $1 \leq i, j \leq n$ . Знайти: контур (шлях) мінімальної довжини, тобто цикл, що проходить через кожну вершину рівно один раз і має мінімальну вагу.

Проведемо математичне формулювання завдання параметричної оптимізації за допомогою алгоритму зграї вовків:

$$\text{Змінні завдання: } x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } e \text{ шлях} \\ 0, \text{ інше} \end{cases}$$



Знайти цільову функцію виду:

$$J(x) = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

де  $c_{ij}$  – відстань між точками  $i$  та  $j$  при таких обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \forall j = \overline{1, N}, \quad \sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \forall i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Нехай спочатку згенеровано  $N$  “вовків” у евклідовому просторі розмірності  $D$ , тобто кожен вовк представлений у вигляді вектору  $x_i(x_{i1}, \dots, x_{iD})$ , що визначає його координати в просторі. Таким чином, зграя (популяція) являє собою множину потенційних рішень, координати яких так само, як і для зграйного алгоритму оптимізації [2], оновлюються на кожній ітерації, поки не буде знайдено оптимальне рішення або не буде виконано максимально задану кількість обчислень цільової функції.

Тоді функція  $f(x)$ , що характеризує, наскільки сильно відчувається запах жертви вовками, є цільовою, а координати самої жертви – оптимальною точкою. Відстань між двома вовками  $p$  та  $q$  описується метрикою виду:  $L(p, q)$ . Алгоритм “зграї вовків” здійснює пошук оптимальної точки-жертви. Вони діляться на групи, переміщуються в різних напрямках і обмінюються інформацією між собою.

Алгоритм оптимізації на основі зграї вовків складається з наступної послідовності дій.

*Дія 1. Введення вихідних даних.* На даному етапі відбувається введення вихідних даних, що наявні у системі для вирішення оптимізаційної задачі.

*Дія 2. Виставлення вовків на початкові позиції з урахуванням невизначеності.* Створити зграю вовків у вигляді набору евклідових векторів, розподілених на множині допустимих значень аргументів з урахуванням ступеню  $\chi$  інформованості про стан об'єкту. Поділ ступеня невизначеності: (повна невизначеність – виставлення випадковим чином, часткова невизна-



ченість – виставлення з урахуванням коефіцієнту корегування положення вовків  $\chi=0,01\div 0,99$ ).

*Дія 3. Визначення ватажків у зграї.* У класичному алгоритмі вовчої зграї “вовк” із найкращим значенням цільової функції на цій ітерації є ватажком. Якщо на наступній ітерації знайдеться інша “особина” з кращим значенням цільової функції, ніж у ватажка, то, відповідно, зграя “знайде” нового лідера. В зазначеній процедурі пропонується визначити ту кількість ватажків, яка забезпечить максимізацію оперативності пошуку при обмеженнях на наявні обчислювальні ресурси.

*Дія 4. Пошук здобичі іншими вовками зграї.* Інші вовки досліджують місцевість на наявність жертви. Причому, функція  $f(x_i)$  характеризує, як сильно відчувається запах жертви  $i$ -им “вовком”. Тоді величина  $G_{best}$  характеризує, як сильно відчувається запах жертви ватажком зграї.

*Дія 5. Зміна ватажка у зграї.* Якщо  $f(x_i) > G_{Best}$ , тоді  $i$ -ий “вовк” перебуває ближче до жертви, ніж ватажок зграї, тому  $i$ -ий вовк стає ватажком на даному етапі  $f(x_i) = G_{Best}$ . Якщо ж  $f(x_i) < G_{Best}$ , тоді “вовк” переміщується в просторі з деяким заздалегідь заданим кроком  $step$ . Ватажок (ватажки) зграї “повідомляють” іншим “вовкам” у зграї про своє місцезнаходження, як про найближчу точку зараз до жертви, щоб вони перемістилися в його напрямку.

*Дія 6. Наближення до ватажків зграї.* На цьому етапі “ватажок” (“ватажки”) розглядається майже так само, як і жертва – ціль, до якої необхідно наблизитися. Тоді “вовки” зграї переміщуються в напрямку ватажка із заздалегідь заданим кроком  $step$ , причому координата  $d$   $i$ -ого “вовка” на  $(k+1)$ -й ітерації обчислюється за формулою:

$$x_{iD}^{(k+1)} = x_{iD}^{(k)} + step \frac{G_{Best}^{(k)} - x_{iD}^{(k)}}{\|G_{Best}^{(k)} - x_{iD}^{(k)}\|}. \quad (3)$$



З формули (3) і опису алгоритму видно, що в методі пошуку “зграєю вовків” оновлюються тільки координати “вовків” без урахування швидкості їхнього переміщення в просторі. Для зграйного алгоритму необхідно обрати чотири параметри (коефіцієнти навчання, інерційну вагу, розмір популяції). Проте для методу пошуку зграєю вовків достатньо підібрати лише два параметри – розмір популяції  $N$  і крок  $step$ , з яких переміщуються “вовки” в напрямку ватажка і жертви.

Слід зазначити, що формула (3) стандартним чином не може бути застосована до задачі комівояжера. У цьому разі беруть тільки основний її принцип, а саме: інші “вовки” мають бути достатньо “схожими” на свого ватажка (ватажків), який у поточній ітерації перебуває ближче до жертви (за значенням цільової функції). На цьому етапі за допомогою удосконаленого генетичного алгоритму, що запропонований авторами в роботі [24] відбувається формування популяції зграї вовків.

Нехай існує популяція та відповідне пристосування кожного вовка. Приклад роботи алгоритму показано в табл. 1–3.

Таблиця 1.

**Приклад “хромосом-вовків” зі значенням пристосованості**

Хромосоми (порядок проходження точок комівояжером)						Значення функції пристосованості (пройдений відповідним “вовком”)
3	1	6	4	2	5	0,31
5	6	2	1	3	4	0,32
3	4	2	5	1	6	0,021
4	1	6	2	5	3	0,32

Далі, визначаємо найкращого “вовка” за його значенням функції пристосованості (табл. 2).



Таблиця 2.

### Найкраща хромосома популяції

Найкраща хромосома						Значення функції пристосованості
3	4	2	5	1	6	0,0263

На основі найкращої хромосоми (табл. 2) генеруємо нову популяцію на підставі [24] (табл. 3).

Таблиця 3.

### Генерація нової популяції на основі вовка з найкращим пристосуванням (за довжиною пройденого ним шляху)

Хромосоми (порядок проходження точок)						Значення функції пристосованості (пройдений шлях відповідним вовком)
3	4	2	5	1	6	0,022
2	3	4	5	1	6	0,19
3	4	2	5	6	1	0,04
1	4	2	5	6	3	0,21

Усі наступні ітерації виконуються аналогічним чином: знаходиться найкращий “вовк” і на його основі генерується нова популяція.

*Кінець алгоритму.*

## 4.2 Розробка методу параметричної оптимізації на основі удосконаленого алгоритму кошкої зграї

### 4.2.1 Удосконалена процедура пошуку методу параметричної оптимізації

Для пошуку глобального екстремуму скалярної функції  $f(x)$  векторного аргументу  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n$  авторами [22] було запропоновано використовувати модель поведінки зграї кішок (cat swarm – CS), при цьому передбачається, що кожна кішка  $cat_p$  зграї, що складається з  $Q$  особин



## MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

*Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie*

( $p=1,2,\dots,Q$ ), може перебувати в одному з двох станів: режимі пошуку (Seeking Mode – SM) та режимі погоні (Tracing Mode – TM).

При цьому режим пошуку пов'язаний з повільними рухами з незначною амплітудою біля вихідної позиції (сканування простору в поточній позиції). Режим погоні визначається швидкими стрибками з великою амплітудою і дозволяє вивести кішку  $cat_p$  з локального екстремуму, якщо вона туди потрапила. Поєднання локального сканування та різких змін поточного стану дозволяє з більшою ймовірністю відшукати глобальний екстремум у порівнянні з традиційними методами багатоекстремальної оптимізації.

Процес пошуку екстремуму за допомогою котячої зграї може бути реалізований у вигляді наступної послідовності кроків:

Крок CS 1: створити зграю з кішок у вигляді набору  $n$ -вимірних векторів  $x_p^{(0)}$ , розподілених на множині допустимих значень аргументів  $R_x^n$  з урахуванням ступеню  $\chi$  інформованості про стан об'єкту (повна невизначеність – виставлення випадковим чином, часткова невизначеність – виставлення з урахуванням коефіцієнту корегування положення кішок  $\chi=0,01\div 0,99$ ), тобто  $x_p^{(0)} \in R_x^n \subset R^n$ ; оцінити значення оптимізованої функції (фітнес-функції)  $f(x_p(0))$  у всіх  $Q$  точках, при цьому передбачається, що метою оптимізації є пошук глобального мінімуму  $f(x)$ .

Крок CS 2: ввести параметр стану SPC (self position consideration), який приймає два значення 1 або 0. Випадково розділити зграю кішок на дві групи: кішки в пошуку (SPC=1) і кішки в погоні (SPC=0).

Крок CS 3: якщо SPC=1, запустити відповідну групу кішок у пошук. У даному випадку, межу пошуку пропонується обмежити пріоритетними напрямками. Пріоритетність пошуку пропонується визначити двома межами пошуку в двомірному векторі пошуку з урахуванням  $\chi$  (а саме верхньою та



нижньою межею пошуку) Кішки, що залишилися з  $SPC=0$  запустити в режим погоні.

Крок CS 4: оцінити значення фітнес-функції та зберегти нові стани  $x(1)$ , що відповідають найменшим значенням  $f(x_p(1))$ .

Крок CS 5: повернутися до кроку CS 1 з оновленою зграєю  $x_p(1)$ ,  $p=1,2,\dots,Q$  та позначити ділянку, яка є недослідженою.

Крок CS 6: На підставі інформації, про недосліджену ділянку визначити потребу у залученні додаткових апаратних ресурсах мережі.

#### 4.2.2 Удосконалена процедура погоні методу параметричної оптимізації

Режими пошуку та погоні можуть бути реалізовані паралельно і також складатися з послідовності кроків. При цьому режим пошуку котячої зграї відповідає процесу локального пошуку завдання оптимізації. Режим пошуку визначається трьома основними факторами: обсягом пам'яті пошуку (seeking memory pool – SMP), який визначає кількість створюваних копій кожної кішки  $cat_p$ , кроком зміни по кожній координаті простору  $R_x^n$  (seeking range of the selected dimension – SRD) і координат, що змінюються (counts of dimension to change – CDC). Власне, режим пошуку може бути реалізований у вигляді наступної послідовності кроків:

Крок SM 1: якщо  $SPC = 1$ , створити  $C$  ( $C=SMP$ ) копій  $cat_p$ .

Крок SM 2: відповідно до прийнятого CDC змінити стан  $cat_p$ .

Крок SM 3: оцінити значення оптимізованої фітнес-функції для кожного зміненого стану  $cat_p$ .

Крок SM 4: ввести ймовірність вибору кожного стану, що змінюється і кішку з максимальним значенням  $P_p$  виключити з подальшого розгляду. Кішка зі значенням  $P_p=0$  є “найкращою” копією  $cat_p$ , оскільки їй відповідає найменше значення функції, що оптимізується  $f_{\min}(x_p(\tau))$ :



$$P_p = \frac{f(x_p(\tau)) - f_{\min}(x_p(\tau))}{f_{\max}(x_p(\tau)) - f_{\min}(x_p(\tau))}, \tau = 1, 2, \dots, T. \quad (4)$$

При чому на даному етапі при виборі  $P_p$  відбувається додаткове навчання кожної кішки зі зграї за допомогою методу навчання штучної нейронної мережі, що еволюціонує [2].

Режим погоні відповідає процесу глобального пошуку, що дозволяє “проскакувати” локальні екстремуми оптимізованої функції, і може бути реалізований у вигляді послідовності кроків:

Крок ТМ 1: якщо  $SPC = 0$ , для групи кішок у гонитві розрахувати для кожної  $cat_p$  швидкості руху по кожній координаті за допомогою рекурентного виразу:

$$v_{pi}(\tau+1) = v_{pi}(\tau) + \chi(\tau)\eta_{TM}(x_{best,i}(\tau) - x_{pi}(\tau)), \quad (5)$$

де  $v_{pi}(\tau)$  – швидкість руху  $p$ -ої кішки по  $i$ -й координаті на  $\tau$ -ї ітерації погоні,  $0 < \chi(\tau) < 1$  – параметр погоні, який обмежується пріоритетністю погоні і приймає значення з кроку CS 3,  $\eta_{TM}$  – постійний крок погоні,  $x_{best,i}(\tau)$  – найкраще рішення задачі оптимізації, отримане на  $\tau$ -й ітерації.

Крок ТМ 2: ввести гранично можливі значення швидкостей  $v_{\min}$  та  $v_{\max}$  для кожної кішки перевірити умову і якщо воно порушується, зробити  $v_{pi}(\tau+1)$  рівним відповідному значенню  $v_{\min}$  або  $v_{\max}$ :

$$v_{\min} < v_{pi}(\tau+1) < v_{\max}, \quad (6)$$

Крок ТМ 3: змінити положення кожної кішки в гонитві відповідно до співвідношення

$$x_{pi}(\tau+1) = x_{pi}(\tau) + v_{pi}(\tau). \quad (7)$$

Крок ТМ 4: перевірити, чи належить  $x_p(\tau+1) R_{xi}^n$ .

*Кінець алгоритму.*



### 4.3 Розробка методу параметричної оцінки об'єкту управління на основі удосконаленого алгоритму світлячків

Математична модель будь якого об'єкту представляє собою формалізований опис критерію якості, що забезпечує виконання заданих функцій, вимог та ін. [6, 7].

З метою послідууючої розробки методу параметричної оптимізації об'єкту управління пропонується розробити математичну модель імітації колонії світлячків.

У ході розробки моделі алгоритму не моделювалося життя рою світлячків, що однозначно копіювала існуючу природну екосистему, а використовувалася імітація колонії як засіб оптимізації, при якому система дещо відрізняється від природної.

Тому для формального опису моделі використовуємо замість поняття “світлячок” поняття “агент”. При ініціалізації пошуку усі агенти довільним чином розподілені у пошуковому просторі цільової функції.

Кожен агент виділяє певну кількість люциферину і має власну область прийняття рішень. Агент  $i$  розглядає іншого агента  $j$  як сусіда, якщо він знаходиться в межах радіуса околиці пошуку агента  $i$  та рівень люциферину агента  $j$  вище, ніж агента  $i$ , тобто  $l_j > l_i$ . Локальна область прийняття рішень визначається радіусом околиці пошуку для кожного  $i$ -го агента.

Використовуючи ймовірнісний механізм, кожен агент вибирає сусіднього агента, у якого рівень люциферину вище, ніж його власний, і рухається у його напрямку. Іншими словами, кожен агент рухається у напрямку того агента, у якого рівень свічення вищий.

Інтенсивність світіння кожного агенту визначається значенням цільової функції у поточному положенні. Чим вище інтенсивність свічення, тим більше значення цільової функції [13]. Крім того, радіус околиці пошуку



кожного агенту залежить від кількості агентів у цій області пошуку. Якщо в околиці пошуку знаходиться невелика кількість агентів, її радіус збільшується. В іншому випадку радіус пошуку скорочується. Даний алгоритм має наступні глобальні етапи: початковий розподіл агентів у просторі пошуку, оновлення рівня люцеферину, переміщення агентів у більш перспективну область пошуку, оновлення радіуса пошуку кожного агенту [14–16].

Завдання параметричної оптимізації стану об'єкту управління полягає у знаходженні таких внутрішніх параметрів побудови, при яких вихідні параметри мали б задані характеристики, а елементи побудови та спосіб їхнього з'єднання залишалися б незмінними.

Нехай у об'єкті управління є  $n$  керованих параметрів, що утворюють вектор  $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Визначимо цільову функцію через  $F(X)$ , а область її визначення – через  $XO$ . Вектор  $X$  визначає координати точки в області визначення  $XO$ . Якщо елементи вектору  $X$  приймають лише дискретні значення, то  $XO$  є дискретною множиною точок і завдання оптимізації належить до області дискретного програмування.

Мета алгоритмів розв'язання задачі параметричної оптимізації – визначити такий вектор керуючих параметрів (впливів), при якому задана цільова функція набуває мінімального значення.

У процесі розробки математичної моделі необхідно визначити параметри об'єкта, які впливають на критерій оптимальності. Далі визначаються параметричні, дискретизуючі та функціональні обмеження, що накладаються на параметри об'єкта управління [5, 6].

Параметричними називають обмеження такого виду:

$$x'_i \leq x_i \leq x''_i, \quad (8)$$

де  $x_i$  –  $i$ -й параметр об'єкта;  $x'_i$  та  $x''_i$  – відповідно  $\min$  та  $\max$  значення  $i$ -го параметра.



Дискретизуючі обмеження мають вигляд:

$$x_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm}\}, \quad (9)$$

де  $x_j$  –  $j$ -й параметр об'єкта управління;  $x_{jk}$  – допустимі значення  $j$ -го параметра ( $k=1, 2, \dots, m$ ). Такі обмеження накладають на значення параметрів чи у зв'язку з їх фізичної сутністю.

Функціональні обмеження, що накладаються на параметри об'єктів управління, є умовами зв'язку їх значень. Ці обмеження мають вигляд:

$$g_i(x) \leq 0; g_j(x) = 0; g_k(x) < 0. \quad (10)$$

Функціональними обмеженнями при оптимальному управлінні об'єкта можуть бути умови завадозахищеності системи управління, живучості та мобільності. Ці умови забезпечують бажані значення тих чи інших технічних характеристик [7–9].

З виразів (8)–(10) можна зробити висновок, що вирази дозволяє описати процеси в об'єкті управління, визначити управляемі параметри об'єкту які також описати причинно наслідкові зв'язки між ними. Зазначений опис є універсальним та дозволяє описати об'єкт управління з урахуванням ієрархічності та індивідуальної специфіки кожного об'єкту управління.

Метод параметричного управління станом об'єкту управління складається з наступної послідовності дій:

*Дія 1. Ініціалізація вхідних параметрів.* На даному етапі відбувається введення вихідних параметрів для розрахунку стану об'єкту управління та обґрунтування послідуєчих управлінських рішень.

*Дія 2. Розміщення початкової (поточної популяції).* Початкове розміщення агентів відбувається з урахуванням типу невизначеності про стан об'єкту управління. На відміну від класичного алгоритму світлячків початкове розміщення відбувається з урахуванням типу невизначеності про стан об'єкту управління, а також ступеню зашумленості даних. Відповідні



корегувальні коефіцієнти наведені в роботі [2]. Розміщення у пошуковому просторі початкової (поточної) популяції рішень в задачі параметричного управління, що складається з  $n$  агентів. Спочатку всі агенти мають однакову кількість люциферину. На кожній ітерації відбувається оновлення рівня люциферину, а потім заміна положення агенту в просторі на основі заданих правил. Стан агенту  $s_i, i \in [l:|S|]$ , визначають наступні змінні:

$X_i$  – поточний стан агенту в просторі пошуку;  $l_i$  – рівень свічення агенту;  $r_i$  – радіус околиці.

Агент  $s_i$  вважається сусідом агенту  $s_j, j \in [l:|S|], i \neq j$  при виконанні наступних умов: евклідова відстань між агентами не перевищує поточний радіус  $r_i$ ; поточний рівень свічення агенту  $s_j$  перевищує цей же рівень агенту  $s_i, l_j > l_i$ . Якщо агент має декілька сусідів, то агент випадковим чином обирає одного з них з ймовірністю, яка пропорційна рівням їх світіння (правило рулетки).

Припустимо, що агент  $s_i$  обрав агенту  $s_j$ . Тоді нове положення агенту  $s_i$  визначає формула:

$$X_i' = X_i + \lambda \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\|}, i, j \in [l:|S|], i \neq j, \quad (11)$$

де  $\lambda$  – постійне значення кроку (вільний параметр алгоритму).

Новий радіус околиці агенту  $s_i$  визначається в відповідності до виразу:

$$r_i' = \min\left(r_{\min}, \max\left(0, r_i + \varepsilon(n - |N_i|)\right)\right), i \in [1:|S|], \quad (12)$$

де  $N_i$  – поточна множина сусідів агенту  $s_i$ ;  $r_{\min}$  – мінімально допустимий радіус околиці;  $n$  – бажана кількість сусідів

*Дія 3.* Оновлення рівня люциферину залежить від позиції агенту у просторі (значення його цільової функції). Всі агенти на початковій ітерації мають однаковий рівень люциферину, тому значення цільової функції кожного агенту залежить від його положення в просторі пошуку.



Рівень люциферину кожного агента збільшується пропорційно до вимірюваних характеристик агента (температура, рівень випромінювання). З погляду оптимізації це і є цільовою функцією. Для моделювання процесу розпаду флуорисцентної речовини проводиться віднімання частини люциферину. Обчислення рівня люциферину  $l_i(t)$  (рівня свічення)  $i$ -го агента в момент часу  $t$  показано нижче:

$$l_j(t+1) = (1 - \rho)l_j(t) + \gamma J_j(t+1), \quad (13)$$

де  $\rho$  – коефіцієнт ослаблення рівня люциферина для моделювання процесу розпаду флуорисцентної речовини ( $0 < \rho < 1$ )  $\gamma$  – коефіцієнт привабливості агента,  $J_j$  – значення цільової функції  $j$ -го агента в момент часу  $t$ .

*Дія 4.* Кожен агент вибирає того агента всередині радіусу околиці пошуку  $r_i$ , у якого рівень люциферину вищий, ніж його власний. Завдання  $N_i(t)$  – множини сусідів  $i$ -го агента в момент часу  $t$ ,  $r_i$  – радіус околиці пошуку  $i$ -го агента в момент часу  $t$ .

*Дія 5.* При оновленні свого положення у просторі пошуку кожен агент на основі ймовірнісного механізму пересувається у напрямку того агента, у якого рівень люциферину вище, ніж його власний.

Для кожного  $i$ -го агента можливість переміщення в напрямку агента  $j$  визначається за формулою:

$$p_{ij}(t) = \frac{l_j(t) - l_i(t)}{\sum_{k \in N_i(t)} l_k(t) - l_i(t)}, \quad (14)$$

де  $j \in N_i(t)$ ,  $N_i(t) = \{j : d_{ij}(t) < r_d^i(t)\}$ ;  $l_i(t) < l_j(t)$ ,  $d_{ij}(t)$  – евклідова відстань між агентами  $i$  та  $j$  у момент часу  $t$ ;  $l_j(t)$  – рівень люциферину агента  $j$  на момент часу  $t$ ;  $r_d^i(t)$  – локальна область прийняття рішень агента  $i$ , що змінюється, в момент часу  $t$ .



Дія 6. Агент  $i$ , використовуючи метод колеса рулетки, вибирає агента  $j$  і переміщається в його напрямку. Далі визначається оновлена позиція агента  $i$  за формулою:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + st * \left\{ \frac{x_j(t) - x_i(t)}{\|x_j(t) - x_i(t)\|} \right\}, \quad (15)$$

де  $st$  – розмір кроку.

Дія 7. Оновлення радіусу околиці пошуку  $r_d^i$  за формулою:

$$r_d^i(t+1) = \min \left\{ r_s, \max \left\{ 0, r_d^i(t) + \beta(n_t - |N_i(t)|) \right\} \right\}, \quad (16)$$

де  $\beta$  – постійний параметр та  $n_t$  – параметр для керування кількістю сусідніх агентів. Величини  $\rho, \gamma, st, \beta, n_t$  – параметри алгоритму, значення яких визначається експериментальним шляхом.

Дія 8. Навчання агентів. На даному етапі відбувається навчання агентів з використанням запропонованого в роботі [2] методу навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

Дія 9. Визначення необхідності залучення додаткових обчислювальних ресурсів. На даному етапі за допомогою запропонованого в роботі [36] підходу розраховується необхідна кількість обчислювальних ресурсів, які необхідно залучити для проведення оцінки та параметричного управління станом об'єкту управління.

*Кінець алгоритму.*

## 5. Оцінка ефективності запропонованої сукупності методів

### 5.1 Оцінка ефективності методу оптимізації на основі алгоритму зграї вовків

Порівняльний аналіз отриманих результатів роботи проводився на основі двох критеріїв: критерій часу та критерій оптимальної пройденої комівояжером відстані знайденої кожним алгоритмом для різної кількості точок (від 30 до 300). Нижче наведено табличні результати (табл. 4, 5).



Таблиця 4.

**Порівняльний аналіз класичного та модифікованого алгоритму “зграї вовків” для задачі комівояжера за критерієм цільової функції відстані**

Кількість вершин	Розмір популяції	Максимальна кількість ітерацій	Класичний алгоритм зграї вовків		Модифікований алгоритм зграї вовків		Точний рішення на мінімум
			$f_{Best}$	Помилка у %	$f_{Best}$	Помилка у %	
			30	30	1000	23,95767	
50	60	5000	429,5757	1,25%	416,2	0,1%	421,7876
100	100	10000	534,5848	1,7%	520,7	1,16%	523,5848
150	200	20000	312,7	2,28%	308,2	1,22%	328,0874
300	500	50000	881,8	3,75%	846,5	1,5%	854,1549

Як видно з табл. 4, що модифікований алгоритм зграї вовків дає точніші результати на відміну від класичного, при чому точність підвищується до 30 %.

Таблиця 5.

**Порівняльний аналіз класичного та модифікованого алгоритму зграї вовків для задачі комівояжера за критерієм часу роботи**

Кількість вершин	Розмір популяції	Максимальна кількість ітерацій	Час роботи алгоритму (у сек.)	
			Класичний алгоритм зграї вовків	Модифікований алгоритм зграї вовків
30	30	1000	2,15978	1,8
50	60	5000	10,79888	11,6
100	100	10000	53,99440	50,1
150	200	20000	269,97198	270,3
300	500	50000	1349,85991	1355,24



За результатами розрахунку, наведеними в табл. 5, встановлено, що час роботи модифікованого алгоритму більший на 10 %. Це зумовлено тим, що відбувається поділ усієї популяції на підгрупи, кожна з яких має своїх “ватажків”.

Проведемо порівняння, наскільки ефективною є модифікація цього алгоритму порівняно з популяційними алгоритмами, такими як оптимізація “роєм частинок” і класичний генетичний алгоритм, який найчастіше використовують для рішення задачі комівояжера (табл. 6 і 7).

Таблиця 6.

**Порівняльний аналіз модифікованого алгоритму “зграї вовків” із генетичним алгоритмом та алгоритмом рою частинок за критерієм оптимального пройденого шляху**

Кількість вершин	Розмір популяції	Класичний алгоритм рою частинок		Класичний генетичний алгоритм		Модифікований алгоритм зграї вовків		Точний розв’язок на мінімум
		$f_{Best}$	Помилка у %	$f_{Best}$	Помилка у %	$f_{Best}$	Помилка у %	
30	30	24,78769	5,10%	24,4895	3,84%	23,12	0,00%	23,58484
50	60	431,7558	2,36%	428,765	1,65%	411,9	0,11%	421,7876
100	100	538,5688	2,86%	538,854	2,92%	524,4	1,2%	523,5848
150	200	338,6656	3,22%	334,776	2,04%	312,4	1,36%	328,0874
300	500	902,6657	5,68%	887,567	3,91%	850,6	1,7%	854,1549

Як бачимо, що модифікований алгоритм зграї вовків тут так само дає значно точніші результати на відміну від інших двох розглянутих (в середньому до 50 %).



Таблиця 7.

**Порівняльний аналіз модифікованого алгоритму зграї вовків із генетичним алгоритмом та алгоритмом “рою частинок” за критерієм часу роботи**

Кількість вершин	Розмір популяції	Максимальна кількість ітерацій	Час роботи алгоритму (у сек.)		
			Класичний алгоритм рою частинок	Класичний генетичний алгоритм	Модифікований алгоритм зграї вовків
30	30	1000	2,74546	2,43579	1,33
50	60	5000	11,64576	18,85740	11,83
100	100	10000	53,65869	61,27783	50,7
150	200	20000	269,76457	271,19442	260,1
300	500	50000	1349,57659	1356,37387	1298,7

За результатами, наведеними в табл. 5, можна побачити, що час роботи модифікованого алгоритму в середньому менший на 20 %, ніж в алгоритму “рою частинок” від наведених у табл. 7. Основний час роботи в генетичного алгоритму відведено на проведення схрещування та отримання пар хромосом. Отримані результати з підвищення оперативності оптимізації пояснюються використанням удосконаленого алгоритму зграї вовків на відміну від класичних емпіричних виразів та класичного алгоритму зграї вовків. Алгоритм зграї вовків використаний не в класичному вигляді, а шляхом удосконалення за допомогою удосконалених процедур виставлення вовків з урахуванням типу невизначеності та додаткових використанням додаткових процедур, розробленими авторами в [24].

**5.2. Оцінка ефективності методу оптимізації на основі алгоритму кошкої зграї**

Для визначення ефективності роботи запропонованого методу були проведені дослідження порівняно з іншими ройовими методами, а саме з



мурашиным алгоритмом (ACO), методом оптимізації роєм частинок (PSO) та класичним алгоритмом кошкої зграї. Результати експериментів наведено в табл. 8.

Крім того, метод оперує меншою кількістю параметрів і, відповідно, не вимагає великих обчислювальних витрат.

Основною перевагою методу, заснованого на поведінці кошкої зграї, є те, що при його використанні різко знижується ймовірність попадання в локальний оптимум та глобальний оптимум а за рахунок розпаралелювання зменшується час. На кожній ітерації воно дорівнює часу пошуку в найперспективнішому блоці.

Таблиця 8.

**Порівняльний аналіз біоінспірованих алгоритмів**

Число проміжних точок рішення	Метод рою частинок	Мурашиний алгоритм	Класичний метод кошачих зграй	Запропонований метод
$N$	$T, c$	$T, c$	$T, c$	$T, c$
5	0,282	0,276	0,232	0,19
10	0,723	0,4	0,423	0,34
15	6,641	0,999	1,1	0,88
20	10,7	2,5	2,7	2,16
30	21,3	4,5	4,7	3,76
40	42	7,9	7,4	5,92
50	56	10,1	9,2	7,36
100	120	17,6	19,6	15,68
200	727	74,2	80,2	64,2
Складність	$O\left(\frac{(N-1)!}{4}\right) = O(N!)$	$O(N^2+N) = O(N^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2 \times 0,8)$



За результати аналізу даних, що наведені в табл. 1 видно, що запропонований метод має прийнятну обчислювальну складність.

У діапазоні (від 50 до 100) запропонований метод стає ефективнішим за часом роботи алгоритму порівняно з іншими алгоритмами (швидше методу рою часток на 82–90,6 % та мурашиного на 27–29,1 та класичним алгоритмом кошкої зграї 20 %. Запропонований метод дозволяє отримувати адекватні рішення при складній ієрархічній структурі об'єкту моніторингу. Ефективність запропонованого методу в середньому складає від 15 до 23 % при різних ієрархіях побудови об'єкту моніторингу.

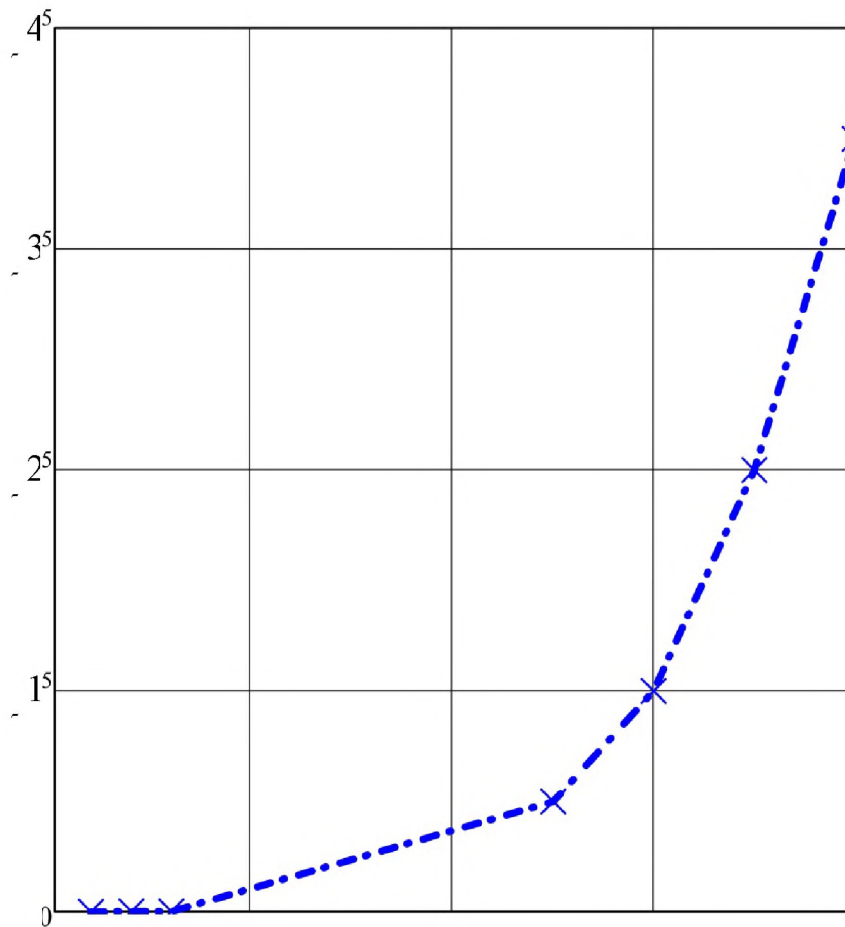
Отримані результати з підвищення оперативності оптимізації пояснюються використанням удосконаленого алгоритму кошкої зграї. На відміну від класичних емпіричних виразів та класичного алгоритму кошкої зграї алгоритм кошкої зграї використаний не в класичному вигляді. Класичний алгоритм удосконалений за допомогою штучних нейронних мереж, що еволюціонують, та додаткових процедур направлено пошуку та погоні.

### **5.3 Оцінка ефективності методу параметричної оцінки об'єкту управління на основі удосконаленого алгоритму світлячків**

Результати моделювання дали змогу визначити залежність часу роботи алгоритму від вхідних параметрів. Графік залежності часу роботи алгоритму від кількості вхідних даних представлений на рис. 1.



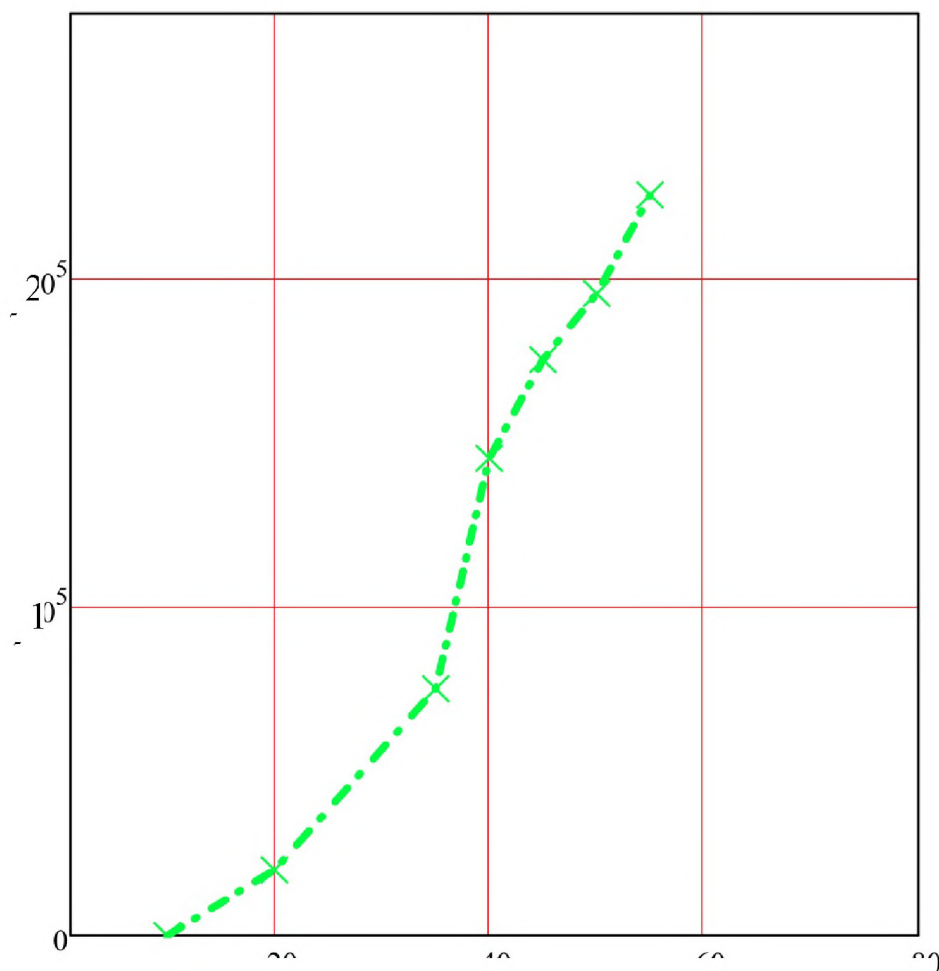
Час роботи  
алгоритму,  
мс



Кількість параметрів

**Рис. 1** Часова складність алгоритму в залежності від кількості вхідних параметрів

Часова складність алгоритму становила  $O(n^2)$ , де  $n$  – число вхідних параметрів. Також було розглянуто залежність часу роботи алгоритму від кількості ітерацій. Результати моделювання наведено на рис. 2.



**Рис. 2** Залежність часу розв'язання задачі від числа ітерацій

Ця залежність дорівнює  $O(n^4)$ , де  $n$  – число ітерацій. Для визначення ефективності роботи запропонованого методу були проведені дослідження порівняно з іншими ройовими методами, а саме з мурашиним алгоритмом (ACO) і методом оптимізації роєм частинок (PSO). Результати експериментів наведено в табл. 9.

З рисунків видно, що розроблений метод перевершує алгоритми ACO та PSO за якістю одержуваних рішень. Крім того, метод оперує меншою кількістю параметрів і, відповідно, не вимагає великих обчислювальних витрат. Основною перевагою методу, заснованого на поведінці рою світляч-



ків, є те, що при його використанні різко знижується ймовірність попадання в локальний оптимум, а за рахунок розпаралелювання зменшується час. На кожній ітерації воно дорівнює часу пошуку в найперспективнішому блоці.

Таблиця 9.

### Порівняльний аналіз ройових алгоритмів

Число проміжних точок рішення	Метод рою частинок	Мурашиний алгоритм	Запропонований метод
$N$	$T, c$	$T, c$	$T, c$
5	0,282	0,276	0,232
10	0,723	0,4	0,423
15	6,641	0,999	1,1
20	10,7	2,5	2,7
30	21,3	4,5	4,7
40	42	7,9	7,4
50	56	10,1	9,2
100	120	17,6	19,6
200	727	74,2	80,2
Складність	$O\left(\frac{(N-1)!}{4}\right) = O(N!)$	$O(N^2+N) = O(N^2)$	$O(n^2)$

За результати аналізу даних, що наведені в табл. 9 видно, що запропонована метода має прийнятну обчислювальну складність.

У діапазоні (від 50 до 100) запропонований метод стає ефективнішим за часом роботи алгоритму порівняно з іншими алгоритмами (швидше методу рою часток на 72,9–81,6 % та мурашиного на 7–9,1 %. Запропонований метод дозволяє отримувати адекватні рішення при складній ієрархічній структурі об'єкту моніторингу. Ефективність запропонованого методу в середньому складає від 17 до 20 % при різних ієрархіях побудови об'єкту управління.



## 7. Висновки

1. Виконано аналіз моделей представлення знань, обґрунтовано переваги застосування продукційного представлення знань в експертних системах. Наведено основні поняття нечітких експертних систем, на основі яких запропоновано формальну постановку задачі прискорення пошуку рішення в базі правил нечіткої експертної системи. Виконано аналіз етапів нечіткого логічного висновку.

2. Проведено математичну постановку завдання дослідження за допомогою зграї вовків. Запропонована математична постановка завдання дослідження дозволяє сформулювати механізм вирішення оптимізаційної задачі за допомогою алгоритму зграї вовків в ході управління ієрархічними об'єктами.

3. Визначено алгоритм реалізації методу, що дозволяє:

- враховується тип невизначеності даних;
- врахувати наявні обчислювальні ресурси системи аналізу стану об'єкту управління;
- підвищити оперативність пристосування зграї вовків за допомогою удосконаленого генетичного алгоритму, розроблено в [24];
- провести початкове виставлення особин зграї вовків з урахуванням типу невизначеності.

4. Проведене моделювання показало, що отримана модифікація методу пошуку зграєю вовків краще вирішує завдання аналізу стану та параметричного управління з різними вхідними даними до задачі комівояжера, ніж класичний алгоритм пошуку зграєю вовків. Також вона показала кращі результати порівняно з відомими алгоритмами вирішення цієї задачі, такими як генетичний алгоритм та алгоритм рою частинок.

Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 23–30 % за рахунок використання додаткових



удосконалених процедур. Отримані дані дозволили зробити висновок, що часова складність алгоритму не виходить за межі поліноміальної складності.

5. Визначено алгоритм реалізації методу параметричної оптимізації на основі кошкової зграї, що дозволяє:

- враховується тип невизначеності даних;
- врахувати наявні обчислювальні ресурси системи аналізу стану об'єкту управління;
- визначити необхідні обчислювальні ресурси системи для оперативної оцінки стану об'єкту;
- врахувати пріоритетність пошуку особинами з кошкової зграї;
- провести початкове виставлення особин кошкової зграї
- провести точне навчання особин котячої зграї з використанням виразів, що розроблені в роботі [2].

6. Проведений приклад використання запропонованого методу. Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 17–23 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Отримані дані дозволили зробити висновок, що часова складність алгоритму не виходить за межі поліноміальної складності.

7. Проведено розробку математичної моделі параметричної оптимізації на основі удосконаленого алгоритму світлячків. Зазначена формалізація дозволяє описати процеси, що проходять в інформаційних системах спеціального призначення під час вирішення завдань параметричного управління стану об'єкту. Даний підхід дозволяє ефективно розпаралелювати процес пошуку оптимального рішення, що частково усуває проблему попередньої збіжності алгоритму, а також керувати процесом пошуку для знаходження оптимальних та квазіоптимальних рішень. В якості критерію ефективності зазначеного методу обрано оперативність прийняття рішень



щодо параметричного управління станом об'єкту при заданій достовірності. Це дозволяє створити ієрархічний опис складного процесу за рівнями узагальнення та провести відповідний аналіз його стану.

8. Проведено розробку методу параметричної оцінки об'єкту управління на основі удосконаленого алгоритму світлячків, що дозволяє:

- врахувати тип невизначеності та зашумленості даних;
- врахувати наявні обчислювальні ресурси системи аналізу стану об'єкту управління;
- визначити необхідні обчислювальні ресурси системи для оперативної оцінки стану об'єкту;
- провести точне навчання особин рою світлячків з використанням виразів, що розроблені в роботі [2].

9. Запропонований метод оптимізації на основі поведінки рою світлячків показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 17–20 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Отримані дані дозволили зробити висновок, що часова складність алгоритму не виходить за межі поліноміальної складності.

#### Список використаних джерел:

1. Dudnyk, V., Sinenko, Yu., Matsyk, M., Demchenko, Ye., Zhyvotovskiy, R., Repilo, Iu., Zabolotnyi, O., Simonenko, A., Pozdniakov, P., Shyshatskiy, A (2020). “Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 3, No. 2 (105), pp. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>.

2. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskiy, Y. (2021). “Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment”. *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. (4), pp. 30-40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>.



3. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., and Shyshatskiy, A. (2020). “Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation”. *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. (4), pp. 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>.

4. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O., Adamenko, M., Shyshatskiy, A., Neroznak, Y. and Velychko, V (2020). “Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, No.9 (106), pp.14–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>.

5. Nina Kuchuk, Amin Salih Mohammed, Andrii Shyshatskiy and Oleksii Nalapko(2019). “The Method of Improving the Efficiency of Routes Selection in Networks of Connection with the Possibility of Self-Organization”. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. No. 1.2., Vol. 8. pp. 1–6. DOI: [10.30534/ijatcse/2019/0181.22019](https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019).

6. Shyshatskiy, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O. and Neroznak, Ye(2020). “Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System”. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Vol. 9, No. 4, pp. 5583–5590 DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>.

7. C. Pozna, R. -E. Precup, E. Horváth and E. M. Petriu(2022). “Hybrid Particle Filter–Particle Swarm Optimization Algorithm and Application to Fuzzy Controlled Servo Systems,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 30, No. 10, pp. 4286–4297, Oct. 2022, <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2022.3146986>.

8. Yang X.S. and Deb. S (2014). “Cuckoo search: recent advances and applications”. *Neural Computing and Applications*. Vol. 24, pp. 169–174. <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1367-1>.



9. Mirjalili, S (2015). “The ant lion optimizer”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 83, pp. 80–98. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.01.010>.

10. James J .Q. Yu. and Victor O. K. Li (2015) “A social spider algorithm for global optimization”. *Applied Soft Computing*. Vol. 30, pp. 614–627. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.02.014>.

11. Mirjalili, S, Mirjalili, S.M, Lewis, A (2014) “Grey Wolf Optimizer”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 69, pp. 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.

12. Koval, V., Nechyporuk, O., Shyshatskyi, A., Nalapko, O., Shknai, O., Zhyvylo, Y., Yerko, V., Kreminskyi, B., Kovbasiuk, O., Bychkov, A. (2023). Improvement of the optimization method based on the cat pack algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.9 (121), pp. 41–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273786>.

13. Gupta, E and Saxena, A (2015). “Robust generation control strategy based on Grey Wolf Optimizer”. *Journal of Electrical Systems*. Vol. 11, pp.174–188.

14. Chaman-Motlagh A (2015). “Superdefect Photonic Crystal Filter Optimization Using Grey Wolf Optimizer”. *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 27, No. 22, pp. 2355–2358. <https://doi.org/10.1109/LPT.2015.2464332>.

15. Nuaekaew, K., Artrit, P., Pholdee, N. and Bureerat, S (2017) “Optimal reactive power dispatch problem using a two-archive multi-objective grey wolf optimizer”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 87, pp. 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.06.009>.

16. Koval M., Sova O., Shyshatskyi A., Orlov O., Artabaiev Yu., Shknai O., Veretnov A., Koshlan O., Zhyvylo Ye., Zhyvylo I. Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems (2022). *Eastern-european journal of enterprise technologies*, Vol. 5, No. 9 (119), pp. 34–44. DOI: [10.15587/1729-4061.2022.266009](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009).



17. Ali, M., El-Hameed, M.A. and Farahat M.A. (2017) “Effective parameters’ identification for polymer electrolyte membrane fuel cell models using grey wolf optimizer”. *Renewable Energy*. Vol. 111, pp. 455–462. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.036>.

18. Zhang, S. and Zhou, Y (2017). “Template matching using grey wolf optimizer with lateral inhibition”. *Optik*. Vol. 130, pp. 1229–1243. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.11.173>.

19. Khouni, S. E., Menacer, T(2024). “Nizar optimization algorithm: a novel metaheuristic algorithm for global optimization and engineering applications”. *The Journal of Supercomputing*. Vol. 80, pp. 3229–3281. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05579-4>.

20. Saremi, S, Mirjalili, S. and Lewis, A (2017). “Grasshopper optimisation algorithm: theory and application”. *Advances in Engineering Software*. Vol. 105, pp. 30–47. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.01.004>.

21. Braik, M.S (2021). “Chameleon swarm algorithm: a bio-inspired optimizer for solving engineering design problems”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 174, 114685. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114685>.

22. Thamer, K. A., Sova, O., Shaposhnikova, O., Yashchenok, V., Stanovska, I., Shostak, S., Rudenko, O., Petruk, S., Matsyi, O., & Kashkevich, S. (2024). “Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>.

23. Yapici, H and Cetinkaya, N (2019) “A new meta-heuristic optimizer: Pathfinder algorithm”. *Applied Soft Computing*. Vol. 78, pp. 545–568. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.012>.

24. Duan, H. and Qiao, P (2014). “Pigeon-inspired optimization: a new swarm intelligence optimizer for air robot path planning”. *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*. Vol. 7, Iss. 1, pp.24–37. <https://doi.org/10.1108/IJICC-02-2014-0005>.



25. Shyshatskyi, A., Romanov, O., Shknai, O., Babenko, V., Koshlan, O., Pluhina, T., Biletska, A., Stasiuk, T., Kashkevich, S., & Kryvosheiev, V. (2023). “Development of a solution search method using the improved emperor penguin algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 4 (126), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.291008>.

26. Yang, X.S (2012). “Flower pollination algorithm for global optimization”. *Unconventional computing and natural computation*. pp. 240–249, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32894-7\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32894-7_27).

27. Gomes, G.F, da Cunha, S.S. and Ancelotti A.C (2019). “A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates”. *Engineering with Computers*. Vol. 35, Iss. 2: pp.619–626. <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0620-8>.

28. Mehrabian, A.R, Lucas, C (2006). “A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization”. *Ecological Informatics*. Vol. 1, Iss. 4, pp. 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2006.07.003>.

29. Qi X, Zhu, Y, Chen, H, et al (2013). “An idea based on plant root growth for numerical optimization”. *Intelligent Computing Theories and Technology*. Berlin, Heidelberg, pp. 571–578. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39482-9\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39482-9_66).

30. Bezuhlyi, V., Oliynyk, V., Romanenko I., Zhuk, O., Kuzavkov, V., Borysov, O., Korobchenko, S., Ostapchuk, E., Davydenko, T., & Shyshatskyi, A. (2021). “Development of object state estimation method in intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 3 (113), pp. 54–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239854>.

31. Mahdi Q. A., Shyshatskyi A., Prokopenko Y., Ivakhnenko T., Kupriyenko D., Golian V., Lazuta R., Kravchenko S., Protas N. & Momit A. (2021). “Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 9(111), pp. 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>.



32. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Dmytro Shevchenko, Bohdan Molodetskyi, Vitalii Stryhun, Yurii Yivzhenko, Yevhen Stepanenko, Nadiia Protas, & Oleksii Nalapko. (2022). Development of the method of increasing the efficiency of information transfer in the special purpose networks. *Eastern-european Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 4 (117)), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259727>.

33. Zhang, H, Zhu, Y, and Chen ,H (2014). “Root growth model: a novel approach to numerical function optimization and simulation of plant root system”. *Soft Computing*, Vol. 18, Iss. 3, pp. 521–537. <https://doi.org/10.1007/s00500-013-1073-z>.

34. Labbi, Y, Attous, D.B., Gabbar, H.A et al (2016) “A new rooted tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect”. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Vol. 79, pp. 298–311. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.028>.

35. Murase, H (2000) “Finite element inverse analysis using a photosynthetic algorithm”. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 29, Iss.1–2, pp.115–123. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00139-3).

36. Zhao S, Zhang T, Ma S et al (2022) “Dandelion optimizer: a nature–inspired metaheuristic algorithm for engineering applications”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 114, 105075. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105075>.

37. Paliwal, N., Srivastava, L. and Pandit, M(2022). “Application of grey wolf optimization algorithm for load frequency control in multi-source single area power system”. *Evolutionary Intelligence*. Vol. 15, pp. 563–584. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00530-5>.

38. Dorigo, M and Blum, C(2005). “Ant colony optimization theory: a survey”. *Theoretical Computer Science*. Vol. 344, pp. 243–278. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2005.05.020>.



39. Poli R., Kennedy, J and Blackwell, T.(2007). “Particle swarm optimization: an overview”. *Swarm Intelligence*, Vol. 1, pp. 33–57. <https://doi.org/10.1007/s11721-007-0002-0>.

40. Bansal J.C., Sharma H., Jadon S.S. and Clerc, M(2014). “Spider Monkey Optimization algorithm for numerical optimization.” *Memetic Computing*. Vol. 6, pp. 31–47. <https://doi.org/10.1007/s12293-013-0128-0>

41. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V., Kuzavkov, V., Babeliuk, O., Derevianko, M. and Kovalov, H(2021). “The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Vol 11, No. 05., pp. 37 –41. [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05).

42. Alan D. Maccarone, John N. Brzorad and Heather M. Stone (2008) “Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights,” *Waterbirds*. Vol. 31, No. 4, pp. 541– 549.

43. Ramaji, I. J. and Memari, A. M(2018). “Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models”. *Automation in Construction*. No. 90. pp. 117–133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.

44. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L. and Rosa-Remedios, C. B (2019). “Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management”. *Expert Systems with Applications*. No. 120. pp. 167–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>.

45. Chen, H (2018). “Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process”. *Procedia Computer Science*. No. 131. pp. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>.



46. Chan, H. K., Sun, X. and Chung, S.-H.(2019) “When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process?” *Decision Support Systems*. pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>.

47. Osman, A. M. S(2019). “A novel big data analytics framework for smart cities”. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 91., pp. 620–633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>.

48. Nechyporuk, O., Sova, O., Shyshatskyi, A., Kravchenko, S., Nalapko, O., Shknai, O., Klimovych, S., Kravchenko, O., Kovbasiuk, O. and Bychkov, A (2023).“ Development of a method of complex analysis and multidimensional forecasting of the state of intelligence objects”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 4 (122), pp. 31–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276168>.

49. Merrikh-Bayat F (2015).“The runner-root algorithm: a metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature”. *Applied Soft Computing*. Vol. 33, pp. 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.04.048>.

50. Poliarus , O., Krepych , S., & Spivak , I. (2023). “Hybrid approach for data filtering and machine learning inside content management system”. *Advanced Information Systems*, 7(4), 70–74. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.09>

51. Balochian, S and Baloochian, H (2019). “Social mimic optimization algorithm and engineering applications”. *Expert Systems with Applications*. Vol. 134, pp. 178–191. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.035>.

52. Melvix J. L (2014). “Greedy politics optimization. Metaheuristic inspired by political strategies adopted during state assembly elections”. *International advance computing conference (IACC)*, IEEE, pp 1157–1162, <https://doi.org/10.1109/IAdCC.2014.6779490>.

53. Moosavian, N, Roodsari, B.K et al (2013). “Soccer league competition algorithm, a new method for solving systems of nonlinear equations. *International Journal of Intelligence Science*. Vol. 4, No. 1, pp. 7–16. <https://doi.org/10.4236/ijis.2014.41002>.



54. Hayyolalam, V, Kazem, A.A.P (2020). “Black widow optimization algorithm: a novel meta-heuristic approach for solving engineering optimization problems”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 87, 103249. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103249>.

55. Abualigah, L, Yousri D, Abd Elaziz M et al (2021). “Aquila optimizer: a novel meta-heuristic optimization algorithm”. *Computers & Industrial Engineering* Vol. 157, 107250. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107250>.

56. Hodlevskiy, M., & Burlakov, G. (2023). “Information technology of quality improvement planning of process subsets of the spice model”. *Advanced Information Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 52–59. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.06>

57. Askari, Q, Younas, I and Saeed, M (2020) “Political optimizer: A novel socio-inspired meta-heuristic for global optimization”. *Knowledge-Based Systems*. Vol. 195, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105709>.

58. Mohamed, A.W, Hadi A.A and Mohamed A.K (2020) “Gaining-sharing knowledge based algorithm for solving optimization problems: a novel nature-inspired algorithm”. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. Vol. 11, Iss. 7, pp. 1501–1529. <https://doi.org/10.1007/s13042-019-01053-x>.

59. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A. and Váncza, J(2019). “Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems”. *CIRP Annals*. Vol. 68. No.1. pp. 471–474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>.

60. Harding, J. L.(2013). “Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges.” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-2/W1. pp. 59–63. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013.

61. Orouskhani, M., Orouskhani, Y., Mansouri, M. and Teshnehlab, M. (2013) “A novel cat swarm optimization algorithm for unconstrained optimization problems”, *International Journal “Information Technology and Computer Science”*, No. 11, pp. 32 – 41.



62. Karaboga, D and Basturk B(2007). “A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm”. *Journal of Global Optimization*. Vol. 39, pp. 459–471. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>.

63. Fister I, Yang XS and Brest J(2013). “A comprehensive review of firefly algorithms”. *Swarm and Evolutionary Computation*. Vol. 13, pp. 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.06.001>.

64. Oleg Sova, Hryhorii Radzivilov, Andrii Shyshatskyi, Pavel Shvets, Valentyna Tkachenko, Serhii Nevhad, Oleksandr Zhuk, Serhii Kravchenko, Bohdan Molodetskyi, & Hennadii Miahkykh. (2022). “Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems”. *Eastern-european Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 3 (116), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>.

65. Khudov, H., Khizhnyak , I., Glukhov, S., Shamrai, N., & Pavlii , V. (2024). The method for objects detection on satellite imagery based on the firefly algorithm. *Advanced Information Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 5–11. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.01>.

66. Owaid, S. R., Zhuravskyi, Y., Lytvynenko, O., Veretnov, A., Sokolovskyi, D., Plekhova, G., Hrinkov, V., Pluhina, T., Neronov, S., & Dovbenko, O. (2024). “Development of a method of increasing the efficiency of decision-making in organizational and technical systems”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No.4 (127), pp. 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298568>.

67. Tyurin, V., Bieliakov, R., Odarushchenko, E., Yashchenok, V., Shaposhnikova, O., Lyashenko, A., Stanovskyi, O., Melnyk, B., Sus, S., & Dvorskyi, M. (2023). “Development of a solution search method using an improved locust swarm algorithm”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, No. 4 (125), pp. 25–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287316>.



68. Yakymiak, S., Vdovytskyi, Y., Artabaiev, Y., Degtyareva, L., Vakulenko, Y., Nevhad, S., Andronov, V., Lazuta, R., Shapoval, P., & Artamonov, Y. (2023). “Development of the solution search method using the population algorithm of global search optimization”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 4 (123), pp. 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281007>.

69. Mohammed, B. A., Zhuk, O., Vozniak, R., Borysov, I., Petrozhalko, V., Davydov, I., Borysov, O., Yefymenko, O., Protas, N., & Kashkevich, S. (2023). Improvement of the solution search method based on the cuckoo algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 4 (122), pp. 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277608>.

70. Raskin, L., Sukhomlyn, L., Sokolov, D., & Vlasenko, V. (2023). “Multi-criteria evaluation of the multifactor stochastic systems effectiveness”. *Advanced Information Systems*, Vol. 7, No. 2, pp. 63–67. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.09>.

71. Arora S, Singh, S (2019). “Butterfly optimization algorithm: a novel approach for global optimization”. *Soft Computing*. Vol. 3, pp. 715–734. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3102-4>.

72. Mamoori, G. A., Sova, O., Zhuk, O., Repilo, I., Melnyk, B., Sus, S., Bondarchuk, M., Kashkevich, S., Moroz, M., & Klyuchak, O. The development of solution search method using improved jumping frog algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023, Vol. 4, No. 3 (124), pp. 45–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285292>.

73. Tamer, K. A., Sova, O., Shaposhnikova, O., Yashchenok, V., Stanovska, I., Shostak, S., Rudenko, O., Petruk, S., Matsyi, O., & Kashkevich, S. Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>.



MODERNÍ ASPEKTY VĚDY  
*Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie*

74. Шишацький А. В., Жук О. В., Неронов С.М., Протас Н. М., Кашкевич С. О. Сукупність методик підвищення оперативності прийняття рішень з використанням метаевристичних алгоритмів. Монографія. С91 Moderní aspekty vědy: XL. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. pp. 529 – 557. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/mono-40.pdf>.

75. Шишацький А. В., Маций О. Б., Яценюк В. Ж., Троцько О. О. Кашкевич С. О. Сукупність методик підвищення оперативності прийняття рішень з використанням комбінованих метаевристичних алгоритмів. Монографія. С91 Moderní aspekty vědy: XL. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. pp. 558 – 594. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/mono-40.pdf>.

76. Kashkevich, S., Dmytriieva, O., Trotsko, O., Shknai, O., Shyshatskyi, A. Mathematical model of information conflict of information networks. ScienceRise, 2024, No. 1, pp. 3–13. doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003395>.

77. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Єфименко О. В., Плехова Г.А., Шишацький А. В. Методи оцінки стану складних динамічних об'єктів використанням біоінспірованих алгоритмів. С91 Moderní aspekty vědy: XLIV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. С.138–177. <https://doi.org/10.52058/44-2024>.

78. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Троцько О.О., Шкнай О. В., Шишацький А. В. Метод самоорганізації інформаційних мереж в умовах дестабілізуючих впливів. The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life: collective monograph / Trembitska O., Zhuravel S., Stoliar S., Bilotserkivska L. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2024. С. 192–218. DOI – 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.210.



79. Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Lytvynenko, O., Borysov, I., Vakulenko, Y., Mukashev, T., Mordovtsev, O., Kashkevich, S., Lyashenko, A., Velychko, V. Development of a method for assessing the state of dynamic objects using a combined swarm algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, Vol. 3, No. 4 (129), pp. 44–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304131>.

80. Svitlana Kashkevich, Olexander Litvinenko, Andrii Shyshatskyi, Serhii Salnyk, Vira Velychko. The method of self-organization of information networks in the conditions of the complex influence of destabilizing factors. *Сучасні інформаційні системи*. 2024. Т. 8, № 3. С. 59–79. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.07>.

81. Кашкевич С. О., Дмитрієва О. І., Плехова Г. А., Протас Н. М., Неронов С. М., Шишацький А. В. Науково-методичний підхід з підвищення оперативності обробки різнотипних даних з використанням метаевристичних алгоритмів. *C91 Moderní aspekty vědy: XLVI. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. С. 510–543. <https://doi.org/10.52058/46-2024>.*

82. Olexander Litvinenko, Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Serhii Neronov, Ganna Plekhova. The method of self-organization of information networks in the conditions of destabilizing influences. *Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph*. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 3–34. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH1.

83. Svitlana Kashkevich, Andrii Shyshatskyi, Oksana Dmytriieva, Yevhen Zhyvylo, Ganna Plekhova, Serhii Neronov. The development of management methods based on bio-inspired algorithms. *Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph*. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 35–69. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH2.



MODERNÍ ASPEKTY VĚDY  
*Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie*

84. Svitlana Kashkevich, Nina Kuchuk, Oleksii Kuvshynov, Ganna Plekhova, Oleksandr Yefymenko, Andrii Veretnov. The development of methods for evaluating the state of complex technical systems using artificial intelligence theory. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 70–101. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH3.

85. Svitlana Kashkevich, Heorhii Kuchuk, Ganna Plekhova, Viacheslav Davydov, Oleksandr Yefymenko, Yurii Beketov. The development of methods of learning artificial neural networks of intelligent decision-making support systems. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 102–136. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH4 .

86. Svitlana Kashkevich, Illia Dmytriiev, Inna Shevchenko, Oleksandr Lytvynenko, Lyubov Shabanova-Kushnarenko, Nataliia Apenko. Scientific-method apparatus for improving the efficiency of information processing using artificial intelligence. Information and control systems: modelling and optimizations: collective monograph. 2024, Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, pp. 137–167. DOI: 10.15587/978-617-8360-04-7.CH5.

Vydavatel:

Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.  
se sídlem V Lázních 688, Jesenice 252 42  
IČO 03562671 Česká republika

# MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

*Svazek LIII mezinárodní kolektivní monografie*

Podepsáno k tisku 10. Frar 2025  
Formát 60x90/8. Ofsetový papír a tisk  
Headset Times New Roman.  
Mysl. tisk. oblouk. 8.2. Náklad 100 kopií.