Наукові перспективи
Видавнича група



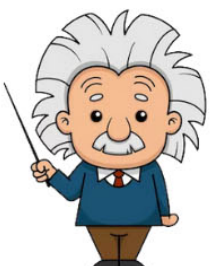




MODERNÍ ASPEKTY VĚDY

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, České 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 Bačišin - 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 Dashevska - 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, bankovnictví 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.

© Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2025
© Publishing Group „ Vědecká perspektiva “, 2025
© autoři článků, 2025

§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 (**Плєхова Г.А.,** Харківський національний автомобільно-дорожній університет, **Шкнай О.В.,** Науково-дослідний інститут воєнної 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 КРУПЯНОЇ 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



§6.4 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ (**Плєхова Г.А.,** Харківський національний автомобільно-дорожній університет, **Шкнай О.В.,** Науково-дослідний інститут воєнної 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")

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.

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.

Основні переваги логічних моделей знань:

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

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.

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.

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.

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 частиною 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.

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 експертом 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 $<z, U, Z>$, де z − назва змінної, U − універсальна множина, Z − нечітка підмножина множини U, що є нечітким обмеженням значення змінної $u \epsilon U$, 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]:

$$\begin{aligned} &R_1: A_{1,1} ma / або\ A_{1,2} ma / або\ \ldots\ ma / або\ A_{1,m1} \to B_{1,1} ma / або\ \ldots\ ma / або\ B_{1,k1}, \\ &R_2: A_{2,1} ma / або A_{2,2} ma / або \ldots ma / або A_{2,m2} \to B_{2,1} ma / або \ldots ma / або B_{2,k2}, \\ &R_n: A_{n,1} ma / або A_{n,2} ma / або \ldots ma / або A_{n,mn} \grave{a} B_{n,1} ma / або \ldots ma / або B_{n,kn}, \end{aligned} \quad (2)$$

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

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

5. етап фазифікації (перетворення за допомогою функцій приналежності χ точних вхідних даних на нечіткі значення лінгвістичних змінних);

6. 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);



7. етап композиції (формуються значення вихідних лінгвістичних змінних для кожного правила, що спрацювало);

8. 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:

$$F:\{A_{1,1},A_{1,2},\ldots,A_{1,m1},A_{i,1},A_{i,2},\ldots,A_{i,mi},A_{n,1},A_{n,2},\ldots,A_{n,mn}\}\rightarrow$$
$$\rightarrow\left\{B_{1,1},B_{1,2},\ldots,B_{1,k1},B_{i,1},B_{i,2},\ldots,B_{i,ki},B_{n,1},B_{n,2},\ldots,B_{n,kn}\right\} \quad (3)$$

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 $i1,i2,\ldots,is$. 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 $i = 1,2,\ldots,n,\ j = 1,2,\ \ldots, m_n, v = 1,\ 2,\ldots,n, w = 1,2,\ \ldots, m_n$. Тоді:

$$\left|A^*\right| = \left|A\right| - p \tag{5}$$

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 канонічному 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.

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

2. Розробка методики оцінки та прогнозування з використанням нечітких когнітивних карт

Методика оцінки та прогнозування з використанням нечітких когнітивних карт має у своєму складі наступні взаємопов'язані процедури.

1. Введення початкових даних про стан об'єкту.

2. Ініціалізація початкової моделі стану об'єкту.

3. Введення корегуючих коефіцієнтів на зашумленість та апріорну невизначеність про стан об'єкту з використанням виразів [2].

Як правило зважаючи на відсутність апріорної інформації про коефіцієнти та порядок диференціального рівняння використання бінарного

подання змінних оптимізації стає скрутним і неефективним у сенсі знаходження рішення. Проте, коли наявна інформація про ступінь зашумленості даних та ступінь невизначеності про стан об'єкту стає можливим підвищити точність побудови нечітких когнітивних карт.

4. Побудова нечіткої когнітивної карти стану об'єкту.

Відповідно до прийнятого переходу від вектору, тобто індивіда, до диференціального рівняння, вектор, зважаючи на особливості обраного подання рішення, містить у собі інформацію про порядок, структуру та коефіцієнти диференціального рівняння, що необхідно враховувати для удосконалення роботи алгоритму [11−15].

Для побудови когнітивної карти, що відображає динамічні властивості ситуації, необхідно визначити шкали значень факторів та їх збільшення.

Для побудови шкали фактору визначається та структурується множина лінгвістичних значень фактору. При визначенні лінгвістичних значень використовуються абсолютні значення чинника, а чи не його оцінки типу "великий", "середній", "маленький". За такого визначення лінгвістичних значень чинників ситуації задається об'єктивний еталон його значення – опорна точка. Завдання об'єктивного еталона значення фактору полегшує роботу експертів щодо сили впливу чинників і зменшує експертні помилки. Завдання прогнозу зводиться до макстріангулярної композиції матриці ваг і вектору початкових збільшень ознак.

Цей алгоритм працює для позитивно визначених матриць, тоді як у даному випадку елементи матриці суміжності та векторів приросту можуть набувати негативних та позитивних значень. Використовується таке правило перетворення матриці суміжності $W = \left|w_{ij} sl\right| n \times n$ з позитивними та негативними елементами до позитивно визначеної подвійної матриці $W = \left|w'_{ij} sl\right| 2n \times 2n$:

якщо $\left(w_{ij} sl\right) > 0$, то $w'_{i(2j-1)} s_{(2l-1)} = w_{ij}\ sl, w'_i\left(2_j\right) s\left(2l\right) = w_{ij} sl$; (6)

якщо $(w_{ij}sl)<0$, то $w`_{i(2j)}s(2l)=-w_{ij}sl, w'_i(2_j)s(2l-1)=-w_{ij}\ sl$. (7)

Початковий вектор приростів $P(t)$ та вектор прогнозних значень ознак $P(t+1)$ у цьому випадку повинні мати розмірність $2n$. Правило отримання початкового вектору приросту $P'(t)$ розмірності $2n$ з початкового вектору $P(t)$ розмірності n наступне:

якщо $p_{ij}(t)>0$, то $p'_i(2_j-1)(t)=p_{ij}(t), p'_i(2_j)(t)=0$; (8)

якщо $p_{ij}(t)<0$, то $p'_i(2_j)(t)=p_{ij}(t), p'_i(2_j-1)(t)=0$. (9)

У векторі $P'(t)=(p_{11}-, p_{11}+, \ldots, p_{nm}-, p_{nm}+)$ значення ознаки f_{ij} характеризують два елементи: елемент з індексом 2_j характеризують позитивне $p_{ij}+$, а з індексом 2_j-1 – негативне p_{ij} – приріст ознаки f_{ij}.

Тоді подвійний вектор прирощень $P'(t+1)$ для позитивно визначеної матриці W' визначається за допомогою наступного рівняння:

$$P'(t+1)=P'(t)\circ W', \quad (10)$$

де для обчислення елемента вектору $P'(t+1)$ використовується правило:

$$p'_{ij}(t+1)=\max_{sl}(p'sl(t)*w'_{ij}sl), \quad (11)$$

Елементи векторів прирощень значень ознак, отримані в послідовні моменти часу $P'(t+1),\ldots,P'(t+n)$, після транспонування подаються у вигляді блокової матриці:

$$P_t=\left|P'(t+1)T,\ldots,P'(t+n)T\right|. \quad (12)$$

Рядки цієї матриці – це значення збільшення однієї ознаки в послідовні моменти часу, стовпці – значення збільшення всіх ознак у момент часу, що відповідає обраному стовпцю. Матриця P_t називається матрицею приросту і використовується під час роботи алгоритмів пояснення прогнозів розвитку ситуації [16–18].

5. Прогнозування динаміки зміни стану об'єкту

Задано множину факторів ситуації $F = \{f_j\}, j = 1, \ldots, m$; $Z_j = \{z_{jk}\}$ – впорядкована множина лінгвістичних значень *i*-го фактору, *k* – номер лінгвістичного значення, та визначені шкали всіх факторів X_i.

Експертним шляхом визначається когнітивна карта (*F*, *W*), де *F* – множина вершин – факторів ситуації, $W = |w_{ij}|$ – матриця суміжності, та початковий стан ситуації як вектор значень всіх факторів ситуації $X(0) = (x_{10}, \ldots, x_{m0})$. Визначено початковий вектор збільшення факторів ситуації $P(t) = (p_1, \ldots, p_m)$.

Необхідно знайти вектори стану ситуації $X(t), X(t+1), \ldots, X(t+n)$ та вектори збільшення стану ситуації $P(t), P(t+1), \ldots, P(t+n)$ у послідовні дискретні моменти часу $t, t+1, \ldots, t+n$, де *t* – номер кроку (такту) моделювання.

Прогноз розвитку ситуації визначається за допомогою матричного рівняння:

$P(t+1) = P(t) \circ W$,

де ($\circ$) – правило *max-product*: $p_i(t+1) = \max_j(p_j(t) w_{ij})$.

Елемент вектору прогнозу розвитку ситуації $p_i(t+1) \in P(t+1)$ представляється парою: $\langle p_i(t+1), c_i(t+1) \rangle$, де $p_i(t+1)$ – значення збільшення фактору, $c_i(t+1)$ – консонанс значення фактору. Когнітивний консонанс про значення фактору використовується для характеристики впевненості суб'єкта у результатах моделювання. При $c_i(t) \approx 1$ впевненість суб'єкта у збільшенні фактору $p_i(t)$ максимальна, а при $c_i(t) \approx 0$ мінімальна.

Стан ситуації у послідовні моменти часу визначатимемо парою: $\langle X(t+1), C(t+1) \rangle$, де $X(t+1) = X(t) + P(t+1)$ – вектор стану ситуації (елемент



цього вектору $x_i(t+1) = x_i(t) + + p_i(t+1)$, когнітивний консонанс значення $c_i(t+1) \in C(t+1)$. Правдоподібний прогноз розвитку ситуації у цьому випадку визначатимемо парою $\langle X(m), C(m) \rangle$, де $X(m) = (x_1(m), \ldots, x_m(m))$ – вектор значень факторів ситуації в момент $t = m; C(m) = (c1(m), \ldots, cm(m))$ – вектор консонансу значень факторів ситуації у момент $t = m$.

6. Навчання нечіткої когнітивної карти за допомогою генетичного алгоритму

Припустимо, що є набір із $3N$ рядків історичних даних (далі – матеріал навчання) про стан концептів у системі. З точки зору завдання прогнозування на основі прирощень концептів прирощення концептів від i-ї ітерації до $k(i+1)$ ітерації становлять вихідний вектор приросту. У цьому випадку нечітка когнітивна карта повинна показати, що при подібному вихідному векторі приросту значення концептів зміняться таким чином, що результати їх збільшення приведуть до значень на $(i+2)$ ітерації.

Нехай $A_i(t)$ – значення концепту на час t. З специфікації матеріалу навчання, даної вище, розглядатимемо трійки рядків: $A_i(t)$, $A_i(t+1)$, $A_i(t+2)$.

Визначимо $x_i = \frac{A_i(t+1) - A_i(t)}{A_i(t)}, y_i = \frac{A_i(t+2) - A_i(t)}{A_i(t)}$, x – це вихідні вектори прирощень, y – результуючі вектори збільшення.

Для вирішення завдання навчання пропонується генетичний алгоритм. У якості хромосоми виділяється одновимірний масив значень, в якому розкладено двовимірний масив ваг нечіткої когнітивної карти. Кожне значення у цьому масиві називається геном. Визначимо основні кроки алгоритму:

1. Для всіх ненульових значень ваги вихідної карти визначається нове ненульове значення ваги, що задається малим випадковим. Вихідні

ненульові значення ваги визначаються експертом (ненульове значення може бути будь-яким, його єдине призначення – вказівка про те, що, на думку експерта, між двома обраними концептами існує причинно-наслідковий зв'язок).

2. Пункт 1 повторюється *Population Size* разів. Отже, формується початкова населення випадкових рішень.

3. Визначається функція пристосованості (*fitness function*) для кожної хромосоми (про вид функції пристосованості йдеться далі).

4. Визначається пул батьків методом “рулетки”.

5. До пулу батьків додаються “елітні особини”. Під елітними особинами в генетичних алгоритмах маються на увазі особини, які показали найкраще значення функції пристосованості на кількох останніх поколіннях (по одній особини від покоління).

6. Відбувається схрещування хромосом, які потрапили до пулу батьків. Схрещування хромосом A та B відбувається наступним чином. Випадковим чином визначається межа схрещування. Позначимо A_{l+} частину хромосоми A, що складається з генів, розташованих починаючи з l, і A_{l-} – частина хромосоми, яка розташована до l. Тоді результатом схрещування будуть дві хромосоми: $A_{l-}B_{l+}$ та $B_{l-}A_{l+}$. Імовірність схрещування визначено заздалегідь. Якщо схрещування не відбувається, обидві батьківські хромосоми без змін переходять у популяцію нащадків.

7. З нащадків, отриманих на кроці 6, формується нова популяція (розмір її точно збігається з розміром популяції на попередньому етапі алгоритму).

8. Відбуваються мутації у популяції нащадків. При мутації вибирається випадковий ген і замінюється нове випадкове значення. Імовірність мутації визначено заздалегідь. Якщо мутації немає, хромосома перетворюється на наступну ітерацію алгоритму незмінною.



9. Визначаються такі параметри покоління: елітна особина (особина, що має найкраще значення ступеня пристосованості) для збереження її генофонду; середнє значення пристосованості популяції (має значення лише для оцінки збіжності алгоритму); значення пристосованості елітної особини.

10 Якщо значення пристосованості елітної особини більше заздалегідь заданого значення максимальної пристосованості, алгоритм зупиняється і вибрана хромосома розкладається в матрицю суміжності нечіткої когнітивної картки (навчання вважається завершеним). Інакше відбувається перехід крок 3.

Кінець.

Розроблена методика оцінки та прогнозування з використанням нечітких когнітивних карт. Концепція елітних особин було введено алгоритм для прискорення збіжності алгоритму. Кількість елітних особин взято рівним 60, у той час як розмір популяції дорівнює 100 (отже, на кожному кроці після 60-го покоління тільки 40 хромосом з поточної популяції мають шанси на схрещування – решта заповнює елітний генофонд, що дістався в від попередніх популяцій).

Таке високе значення ймовірності мутації (зазвичай нехарактерне для генетичних алгоритмів) у разі виправдано, оскільки мутації вносять генетичне розмаїтість у популяцію. При цьому, оскільки використовується елітний генофонд, немає ризику безповоротної втрати корисних генів, що дісталися від попередніх поколінь.

Перехідні процеси різних систем можуть збігатися певному інтервалі, тому тільки збільшення інтервалу спостереження за виходом системи і збільшення частоти зняття вимірювань здатні підвищити ефективність знаходження рішення. З іншого боку, причиною цього може бути наявність великої кількості локальних оптимумів і досить сильна зона тяжіння.

Напрямком подальших досліджень слід вважати подальше удосконалення зазначеної методики для врахування більшої кількості чинників, в ході аналізу стану.

3. Розробка методу когнітивного відображення стану складних ієрархічних систем

В даний час немає єдиних принципів побудови когнітивних образів, здатних нести в стислій і водночас доступній для користувача формі інформацію, достатню для прийняття адекватного управлінського рішення [1−3]. Як правило, образи створюються індивідуально з урахуванням конкретної прикладної галузі та інтерпретуються експертом (групою експертів) на основі накопичених знань. Багатовимірні дані за допомогою електронно-обчислювальних засобів можуть бути співвіднесені до когнітивного графічного образу у вигляді інтегральних функціональних профілів, що відображають особливості стану складних ієрархічних систем [3−6]. Існуючі математичні методи аналізу та візуалізації багатовимірних даних погано застосовні до динамічних систем реального часу і не мають достатньої універсальності, що перешкоджає їх широкому впровадженню.

Метою дослідження є розробка методу когнітивного відображення стану складних ієрархічних систем, що має такі особливості [4−9]:

функціонування складних ієрархічних систем відбувається у режимі реального часу; застосовуються різні шкали та діапазони змін контрольованих параметрів; мають місце пропуски в потоках даних та збої у роботі [2].

Для візуалізації поточного стану в системі зазначеного типу необхідний когнітивний графічний образ, що відповідає наступним вимогам [3, 4]:

наявність математичного апарату перетворення простору ознак у простір образів;



виразність образів, що прискорює розуміння експертами поточної ситуації;

однозначне і точне відображення класу ситуації “normal”, “anomaly”, “critical”, “no info” (“відсутність інформації”);

можливість відображення стану складних ієрархічних систем в цілому та станів окремих її підсистем на всіх рівнях ієрархії;

можливість відображення параметрів із зазначенням рівня відхилення від середнього значення на допустимому робочому діапазоні;

наявність єдиного формалізму опису відносин, важливих для прийняття рішень у знаковому просторі великої розмірності.

З огляду на методи побудови когнітивних образів випливає, що для моніторингу ієрархічних систем найбільш ефективні багаторівневі способи подання ситуації. Число рівнів у практичних додатках не перевищує трьох, оскільки їх збільшення ускладнює сприйняття та знижує оперативність аналізу станів. За основу перетворення простору параметрів у простір графічних образів візьмемо метод інтегрального контурного представлення:

звичайної епіциклоїди:

$$\begin{cases} x = (R+d)\cos\varphi - d\cos(m+1)\varphi \\ y = (R+d)\sin\varphi - d\sin(m+1)\varphi \end{cases}, \tag{13}$$

та звичайні гіпоциклоїди:

$$\begin{cases} x = (R-d)\cos\varphi + d\cos(m-1)\varphi \\ y = (R-d)\sin\varphi - d\sin(m-1)\varphi \end{cases}, \tag{14}$$

де R – радіус нерухомого кола; r – радіус кола, що котиться; $d = r$ – відстань точки M від центру C похідної кола; φ – параметр, що опису куту нахилу відрізка між центрами кіл до осі OX; m – ціле число, $m = R/r$.

При повороті біля центру $0(x_0, y_0)$, на кут, кратний $\frac{2\pi r}{R}$, епіциклоїда (гіпоциклоїда) поєднується сама з собою. Як епіциклоїд, так і гіпоциклоїд

складаються з m конгруентних гілок. Нехай j – номер гілки і $j=1,...,m$, тоді з виразів (13) і (14) отримаємо параметричні рівняння для j-ої конгруентної гілки епіциклоїди:

$$\begin{cases} x = x_0 + (R+d)\cos\psi - d\cos(m+1)\psi \\ y = y_0 + (R+d)\sin\psi - d\sin(m+1)\psi \end{cases}, \quad (15)$$

та гіпоциклоїди:

$$\begin{cases} x = x_0 + (R-d)\cos\psi + d\cos(m-1)\psi \\ y = y_0 + (R-d)\sin\psi - d\sin(m-1)\psi \end{cases}, \quad (16)$$

де x_0 і y_0 – координати центру нерухомого кола, $\psi \in [j\alpha,(j+1)\alpha], \alpha = \frac{2\pi}{m}$.

З рівнянь (15) і (16) отримаємо узагальнену формулу для гілок епіциклоїди та гіпоциклоїди:

$$\begin{cases} x = x_0 + (R+\xi d)\cos\psi - \xi d\cos(m+1\xi)\psi \\ y = y_0 + (R+\xi d)\sin\psi - d\sin(m+1\xi)\psi \end{cases}, \quad (17)$$

де $\xi = 1$ для епіциклоїди і $\xi = -1$ для гіпоциклоїди.

Нехай ієрархічна система характеризується множиною параметрів $Z = \{z_1, z_2, ..., z_j, ..., z_m\}$. Пропонується використовувати формулу (17) як основу інтегрального контурного представлення для вирішення задачі виявлення виходу значень параметрів z_j за межі допустимого діапазону значень $[z_{j_{\min}}, z_{j_{\max}}]$. Приймемо d рівним значенню параметра z_j, але нормалізованого в інтервал $[-\delta,\delta]$. Для нормалізації використовуватимемо формулу:

$$\overline{z}_j = \delta\left(2\left(\frac{z_j - z_{j_{\min}}}{z_{j_{\max}} - z_{j_{\min}}}\right) - 1\right), \quad (18)$$

де $\delta = \frac{R}{2\Phi^2}$, Ф – коефіцієнт золотого перерізу.

Тоді, якщо параметр z_j дорівнює середньому значенню в допустимому діапазоні, то $d = \overline{z}_j = 0$ і крива (17) є частиною кола. Якщо $\overline{z}_j \langle 0$, то крива (17) є конгруентною гілкою гіпоциклоїди. Якщо $\overline{z}_j \rangle 0$, то крива (5) є конгруентною гілкою епіциклоїди.Замінимо у формулі (17) ξd на $\overline{z}_j$, а d на $\left|\overline{z}_j\right|$, тоді вид кривої (17) буде визначатися відхиленням контрольованого параметра від середнього значення на допустимому діапазоні:

$$\begin{cases} x = x_0 + \left(R + \overline{z}_j\right)\cos\psi - \overline{z}_j \cos(m+\eta)\psi \\ y = y_0 + \left(R + \overline{z}_j\right)\sin\psi - \left|\overline{z}_j\right|\sin(m+\eta)\psi \end{cases},$$

$$\text{де } \eta = \begin{cases} 1, \text{якщо} & \overline{z}_j \rangle 0 \\ -1, \text{якщо} & \overline{z}_j \langle 0 \\ 0, \text{якщо} & \overline{z}_j = 0 \end{cases}.$$

У випадках, якщо $z_j = q_1 z_{j_{\min}}, q_1 \rangle 1$ або коли $z_j = q_2 z_{j_{\max}}, q_2 \rangle 1, \{q_1, q_2\} \in R$, то d, відповідне $\left|\overline{z}_j\right|$, буде більше r, а крива (18) буде гілкою подовженої епіциклоїди або гіпоциклоїди і утворювати “петлі”. Для виключення “петель” замінимо гілки епіциклоїди на еліптичну дугу, якщо $\overline{z}_j \rangle r$, а гілка гіпоциклоїд – на гілку гіперболи, якщо $\overline{z}_j \langle -r$. Скоригуємо формулу (18) згідно з введеними уточненнями:

$$\begin{cases} x = x_0 + \left(R + \overline{z}_j\right)\cos\psi - \overline{z}_j \cos(m+\eta)\psi \\ y = y_0 + \left(R + \overline{z}_j\right)\sin\psi - \left|\overline{z}_j\right|\sin(m+\eta)\psi \end{cases},$$

якщо $-r \le \overline{z}_j \le r$

$$\begin{cases} x = x_0^e + a^e \cos\beta\cos\tau - b^e \sin\beta\sin\tau \\ y = y_0^e + a^e \cos\beta\sin\tau + b^e \sin\beta\cos\tau \end{cases}, \qquad (19)$$

якщо $\overline{z}_j \rangle r$

$$\begin{cases} x = x_0 + a^h \cosh\theta\cos\tau - b^h \sinh\theta\sin\tau \\ y = y_0 + a^h \cosh\theta\sin\tau + b^h \sinh\theta\cos\tau \end{cases},$$

якщо $\overline{z}_j \langle -r$

де $\tau = j\alpha + \frac{\alpha}{2}$ – кут повороту еліпса або гіперболи навколо точки $O(x_0, y_0), x_0^e = x_0 + R\cos\frac{\alpha}{2}\cos\tau, y_0^e = y_0 + R\cos\frac{\alpha}{2}\cos\tau, a^e = 2\overline{z}_j + R - R\cos\frac{\alpha}{2}$ – велика напіввісь еліпса, $b^e = R\sin\frac{\alpha}{2}$ – мала напіввісь еліпса, $a^h = R + 2\overline{z}_j$ – дійсна напіввісь гіперболи, $b^h = \frac{a^h R\sin\frac{\alpha}{2}}{\sqrt{\left(R\cos\frac{\alpha}{2}\right)^2 - \left(a^h\right)^2}}$ – уявна полувісь гіперболи, $\theta \in [-2\pi, 2\pi], \beta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$.

Зазначений метод доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану ієрархічної системи та прийнятті управлінських рішень.

4. Розробка методу оцінювання складних ієрархічних систем на основі удосконаленого рою частинок

У цій роботі запропоновано метод оцінювання складних ієрархічних систем на основі удосконаленого рою частинок на основі поєднання методу усереднення координат та PSO.

Це дозволяє у методі усереднення координат перейти від випадкового вибору пробних точок до використання поточних координат рою частинок, колективний рух яких відбувається адаптивно, підлаштовуючись під характер зміни цільової функції. При русі рою частинок враховувати їх зміщення у напрямку знайденого усередненого центру на основі методу усереднення координат. Додатковим механізмом, що прискорює процес збіжності гібридного алгоритму, є включення в процес обчислень кількох кроків процедури Хука-Джівса, які уточнюють поточні координати кращої та/або гіршої частки в рої.



У даній роботі основну увагу приділено ряду методів “нульового порядку”, згідно з якими шляхом обчислювального алгоритму визначаються значення цільової функції лише в пробних точках, з орієнтацією надалі на вирішення завдань зі знаходження цільової функції складного динамічного процесу за мінімальних вимог до безперервності та обмеженості цільової функції. Для наближених оцінок змінності цільової функції використовуються значення максимумів величин, отриманих як відношення різниці значень цільової функції до відстані для всіх пар пробних точок (нижня оцінка константи Липшиця).

Розглядається обмежена безперервна функція $f(x):\Omega\to\square$, де $x=(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n)\in\Omega\subset\square^{\,n}$. Множина Ω є областю допустимих значень змінних і в найпростішому випадку представляє n-мірний паралелепіпед із заданими сторонами, $\left[x_i^{[0]}-d_i, x_i^{[0]}+d_i\right], i=1,2,\ \ldots,n$.

Необхідно знайти наближене значення глобального мінімуму f^* і хоча б одну точку x^*, в якій це значення досягається із заданою допустимою похибкою ε^f для значень цільової функції:

$$f_{min}=min\, f(x), x\in\Omega\Omega f^*-\varepsilon_f\le f_{min}\le f^*,\ f^*=f\left(x^*\right). \tag{20}$$

Обчислювальна процедура знаходження наближеного значення координат точки x^* у методі усереднення координат будується на основі ітераційного процесу, який у безперервній формі має вигляд [5]:

$$x_i^{[k+1]}=\left(\int\limits_{\Omega^{[k]}} x_i\, p_s^{[k]}(x)\,dx\right)\times\iota, i=1,2,\ \ldots,n, \tag{21}$$

$$p_s^{[k]}(x)=P_s^{[k]}\left(f(x)\right)/\int\limits_{\Omega^{[k]}} P_s^{[k]}\left(f(x)\right)dx, \tag{22}$$

де k – номер кроку обчислювального процесу, ι – ступінь невизначеності стану складної динамічної системи реального часу (значення

невизначеності приймає значення від 0 до 1); $\Omega^{[k]}$ – область усереднення координат на кроці k. У цьому вводиться послідовність безперервних функцій $P_s(y), s=1,2,3,\ldots$, таких, що $\forall y \in \square$ значення $P_s(y) \geq 0$ та для послідовності виду $P_s(y)/P_z(y)$ виконується умова монотонного необмеженого зростання при збільшенні параметра селективності s та будь-яких фіксованих значеннях y, z з умовою $y<z$. Прикладами функцій $P_s(y)$, зокрема, є функції $\exp(-sy), s^{-y}, y^{-s}$, а також клас функцій виду $(1-y^r)^s$ при $y\epsilon[0,1]$, $r=1,2,3,\ldots$. Для наведених нижче прикладів чисельної мінімізації використано функцію $(1-y^2)^s$.

У міру зростання s крутість ядер $p_s^{[k]}$ збільшується, що у свою чергу призводить до збільшення ваги координат, які відповідають кращим значенням ЦФ і в останньому випадку послідовність усереднених координат сходить до глобального мінімуму (відповідна теорема збіжності доведена в роботі [5]). Для чисельної реалізації методу усереднення координат одним із ефективних способів підвищення точності обчислення інтегралів (2) є послідовне збільшення кількості пробних точок $x^{(j)[k]}, j=1,2,\ldots,M^{[k]}$, на k-му етапі ітераціного процесу, тобто $M^{[k]} \geq M^{[k-1]}$. Щоб випадково не виключити точку глобального мінімуму, область усереднення $\Omega^{[k]}$ у даному випадку може розглядатися як адаптивно змінна [5], так і незмінна.

У запропонованій модифікації алгоритму ітераційного обчислення усереднених координат введено адаптивне зміщення пробних точок, що реалізується як рух рою частинок у методі PSO з модифікацією FDR (fitness-distance ratio based PSO) [22]. При цьому вводиться додаткове усунення частинок рою до знайденого центру усереднених координат, що вносить до алгоритму PSO новий фактор обміну інформацією між частинками та додаткову стабілізацію процесу колективного пошуку роєм частинок глобального мінімуму ЦФ. При обчисленні інтегралів у формулах (21), (22)

використовується підсумовування значень підінтегральних виразів на множині пробних точок з урахуванням об'ємів підобластей дискретизації області інтегрування $\Omega^{[k]}$. У запропонованому гібридному алгоритмі координати пробних точок ототожнюються з координатами рою частинок, які змінюються в процесі колективного пошуку глобального мінімуму і на початку обчислювального процесу задаються у вузлах деякої розрахункової сітки або генеруються датчиком випадкових чисел з рівномірним розподілом на інтервалах $\left[x_i^{[0]}-d_i, x_i^{[0]}+d_i\right], i=1,2,\ldots,n$. У дискретній формі співвідношення (21), (22) набувають наступного вигляду:

$$x_i^{[k+1]}=\sum_{j=1}^{M^{[k]}} x_i^{(j)[k]} p_s^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right) V^{(j)[k]}, i=1,2,\ldots,n, \tag{23}$$

$$p_s^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right)=\frac{P_s^{[k]}\left(g^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right)\right)}{\sum_{j=1}^{M^{[k]}} P_s^{[k]}\left(g^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right)\right) V^{(j)[k]}}, \tag{24}$$

де $V^{(j)[k]}$ відповідає n-вимірному об'єму при розбитті області $\Omega^{[k]}$ на підобласті, пов'язані з сімейством точок інтегрування $x^{(j)[k]}, j=1,2,\ldots,M^{[k]}$. Тут $g^{[k]}(x)$ – допоміжні функції, що масштабують цільову функцію $f\left(x^{(j)[k]}\right)$ до діапазону [0, 1], які визначаються як:

$$g^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right)=\frac{f\left(x^{(j)[k]}\right)-f_{\min}^{[k]}}{f_{\max}^{[k]}-f_{\min}^{[k]}}, \tag{25}$$

де
$$f_{\min}^{[k]}=\min\left(f\left(x^{(1)[k]}\right), f\left(x^{(2)[k]}\right),\ldots, f\left(x^{\left(M^{[k]}\right)[k]}\right)\right),$$
$$f_{\max}^{[k]}=\max\left(f\left(x^{(1)[k]}\right), f\left(x^{(2)[k]}\right),\ldots, f\left(x^{\left(M^{[k]}\right)[k]}\right)\right).$$

Припускаючи, що для пробних точок – поточних координат рою частинок – у формулах (24), (25) при реалізації наближеного інтегрування

можна вибрати підобласті так, щоб їх величини $V^{(j)[k]}$, $j = 1,2,\ldots,M^{[k]}$, були приблизно рівними, розрахункові формули спрощуються до виду:

$$x_i^{[k+1]} = \sum_{j=1}^{M^{[k]}} x_i^{(j)[k]} p_s^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right), i = 1,2,\ldots,n, \tag{26}$$

$$p_s^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right) = \frac{P_s^{[k]}\left(g^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right)\right)}{\sum_{j=1}^{M^{[k]}} P_s^{[k]}\left(g^{[k]}\left(x^{(j)[k]}\right)\right)}, \tag{27}$$

Слід зазначити, що для обчислювального алгоритму усереднення координат [5] конкретний вид підобластей дискретизації області інтегрування $\Omega^{[k]}$ є не суттєвим, тому використання більш простих при чисельній реалізації співвідношень (26), (27) замість (24), (25) цілком виправдано. Адаптивна зміна координат рою частинок при переході на (*k* + *1*)-му кроці проводиться за схемою PSO [10 – 18] і додатково вводиться складова руху до усередненого центру координат $x^{[k]}$ для кожної *j*-ї частинки рою у наступній формі:

$$x^{(j)[k+1]} = x^{(j)[k]} + \alpha Y^{(j)[k]} + D^{(j)[k]} + U^{[0,\beta_0]} \otimes \left(x^{[k]} - x^{(j)[k]}\right).,... \tag{28}$$

де $Y^{(j)[k]}$ – інерційна складова руху *j*-ї частинки, $D^{(j)[k]}$ – вектор адаптивного зміщення *j*-ї частинки, який визначається трьома складовими випадкового зміщення цієї частинки [18]:

$$D^{(j)[k]} = d_1^{(j)[k]} + d_2^{(j)[k]} + d_3^{(j)[k]}, \tag{29}$$

де

$$\begin{aligned} d_1^{(j)[k]} &= U[0,\beta_1] \otimes \left(x_b^{(j)[k]} - x^{(j)[k]}\right), \\ d_2^{(j)[k]} &= U[0,\beta_2] \otimes \left(x_g^{(j)[k]} - x^{(j)[k]}\right), \\ d_3^{(j)[k]} &= U[0,\beta_3] \otimes \left(x^{(q(j))[k]} - x^{(j)[k]}\right). \end{aligned} \tag{30}$$

У формулах (28)–(30) використано позначення:

$x_b^{(j)[k]}$ – найкращі координати *j*-ї частинки за *k* ітерацій, що визначаються за значенням цільової функції ($d_1^{(j)[k]}$ – когнітивна складова

усунення частки); $x_g^{(j)[k]}$ – координати кращої частки у рої з мінімальним значенням цільової функції за k ітерацій ($d_2^{(j)[k]}$ – соціальна складова усунення частинки); $x^{(q(j))[k]}$ – координати частинки з номером $q(j)$, у напрямку якої швидкість зменшення цільової функції найбільша ($d_3^{(j)[k]}$ – складова змінності цільової функції локальною оцінки константи Липшиця); $U[0,\beta]$ – вектор із компонентами рівномірно розподілених випадкових чисел в інтервалі $[0,\beta]$; $\otimes$ – покомпонентне множення векторів; коефіцієнти $\alpha, \beta_m, m = 0,1,2,3$ є параметрами, що настроюються гібридного обчислювального алгоритму.

Таким чином, співвідношення (24)–(31) після конкретизації виду ядер $P_s^{[k]}(y)$ з зростаючим параметром селективності s та завдання конкретних значень коефіцієнтів $\alpha, \beta_m, m = 0,1,2,3$, повністю визначають гібридний обчислювальний алгоритм глобальної оптимізації на основі методів усереднення координат та рою частинок. Вибір коефіцієнтів чисельного алгоритму глобальної оптимізації може бути здійснений шляхом мета-оптимізації [19] і виходить за межі статті.

Проведено 100 запусків алгоритму, прийнятна точність (порядку 10^{-2}) за значеннями координат кращої частки досягалася за 10–15 ітерацій, надалі відбувалася послідовна концентрація частинок на околиці глобального мінімуму. Слід зазначити, що метод є статистичним і для отримання "прийнятного результату за ймовірністю" необхідне проведення багаторазових запусків програмного застосунку зі зміненими значеннями випадкових векторів $U[0,\ \beta]$.

Перехід до великих розмірностей змінних призводить до необхідності експоненціального зростання кількості пробних точок або частинок у рої. Можливість проведення паралельних обчислень свідчить про доцільність використання у алгоритмі кількох сімейств роїв частинок.

Проведені обчислювальні експерименти з мінімізації функції (29) при n = 100 показали, що якщо загальну кількість частинок не збільшувати, то гібридний алгоритм призводить до одного з локальних мінімумів. Це пояснюється тим, що даний локальний мінімум має найбільш широку область тяжіння (останній додаток у формулі (29)), внаслідок чого з більшою ймовірністю хоча б одна з частинок потрапляє у вказану область і надає максимальний вплив на подальшу поведінку рою частинок.

Слід зазначити, що використання кількох сімейств роїв часток дозволяє у ряді випадків знаходити одночасно як глобальний мінімум, так і локальні мінімуми цільової функції, що може становити інтерес при вирішенні прикладних завдань. Зазначений метод доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану складних ієрархічних систем реального часу.

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. В дослідженні проведено розробку методики оцінки та прогнозування з використанням нечітких когнітивних карт. Новизна запропонованої методики полягає у:

– врахуванні при розрахунках корегувального коефіцієнту на ступінь невизначеності про стан об’єкту;

– додавання корегувального коефіцієнту на зашумленість даних в результаті викривлення інформації про стан об’єкту;



– зменшенні обчислювальних витрат при оцінювання стану об’єктів;

– створення багаторівневого та взаємопов’язаного опису ієрархічних об’єктів;

– корегуванні опису об’єкту в результаті зміни його поточного стану за допомогою генетичного алгоритму;

– можливості проведення розрахунків з вихідними даними, що є різні за природою та одиницями вимірювання.

Зазначену методику доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану складних технічних систем та прийнятті управлінських рішень.

3. В дослідженні проведено розробку методу візуалізації станів ієрархічної системи. Новизна запропонованого методу полягає у:

– створенні візуального, багаторівневого та взаємопов’язаного опису ієрархічної системи;

– підвищення оперативності прийняття рішень при оцінювання стану ієрархічної системи;

– вирішення проблеми попадання в глобальний та локальний екстремуми при оцінюванні стану ієрархічної системи;

– поєднання графічного та числового відображення контрольованих параметрів стану ієрархічної системи;

– уникнення проблеми утворення петель при візуалізації стану ієрархічної системи в режимі реального часу.

4. В дослідженні проведено розробку методу оцінювання складних ієрархічних систем на основі удосконаленого рою частинок. Представлений метод оцінювання заснований на основі поєднання методів рою частинок та усереднення координат та його модифікації з використанням декількох роїв частинок та включенням процедури Хука-Джівса та відповідних корегувальних коефіцієнтів. Новизна запропонованого методу полягає в:

– створенні багаторівневого та взаємопов'язаного опису складних систем ієрархічних систем реального часу;

– підвищення оперативності прийняття рішень при оцінюванні складних систем ієрархічних систем реального часу;

– вирішення проблеми попадання в глобальний та локальний екстремуми при оцінюванні стану складних систем ієрархічних систем реального часу;

– можливість направленого пошуку декількома особинами рою частинок в заданому напряму з урахуванням ступеню невизначеності;

– можливість повторного аналізу стану складних систем ієрархічних систем реального часу;

Список використаних джерел:

1. Dudnyk, V., Sinenko, Yu., Matsyk, M., Demchenko, Ye., Zhyvotovskyi, R., Repilo, Iu., Zabolotnyi, O., Simonenko, A., Pozdniakov, P., Shyshatskyi, 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., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., & Hrokholskyi, 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., Zhyvotovskyi, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii , B., and Shyshatskyi , 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., Zhyvotovskyi, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O., Adamenko, M., Shyshatskyi, 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 Shyshatskyi 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.

6. Shyshatskyi, 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.

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*. Vo. 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.

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.

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 Technolo*gies, 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.

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.

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 EngineeringVol. 157, 107250. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107250.

56. Hodlevskyi, 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. EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. 2024, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205 .

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. C91 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., Ященок В. Ж., Троцько О. О. Кашкевич С. О. Сукупність методик підвищення оперативності прийняття рішень з використанням комбінованих метаевристичних алгоритмів. Монографія. C91 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., Плєхова Г.А., Шишацький А. В. Методи оцінки стану складних динамічних об’єктівз використанням біоінспірованих алгоритмів. C91 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 networksin 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.



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.