

## Розробка методу підвищення оперативності оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення

О. Я. Сова, Г. Д. Радзівілов, А. В. Шишацький, П. С. Швець, В. А. Ткаченко, С. С. Невгад, О. В. Жук, С. І. Кравченко, Б. В. Молодецький, Г. Г. Мягких

*Особливості сучасних воєнних конфліктів вимагають суттєво підвищують вимоги з оперативності оцінки стану об'єкту. Саме тому, необхідно проводити розробку алгоритмів (методів та методик) які здатні за обмежений час та з високим ступенем достовірності провести оцінку стану об'єкту моніторингу від різноманітних джерел розвідувальних відомостей. Точний та об'єктивний аналіз об'єкту вимагає багатопараметричної оцінки зі значними обчислювальними витратами. Саме тому в дослідженні вирішені наступні завдання, а саме: проведено формалізацію оцінки об'єктів моніторингу, розроблено метод підвищення оперативності оцінювання стану об'єктів моніторингу та проведено оцінку ефективності. Сутність запропонованого методу полягає в ієрархічній гібридизації бінарних класифікаторів та подальшому їх навчанні.*

*Метод має наступну послідовність дій: визначення ступеня невизначеності, побудова дерева класифікаторів, визначення належності до певного класу, визначення параметрів об'єкту, попередня обробка даних про об'єкт аналізу та ієрархічний обхід дерева.*

*Новизна методу полягає в врахуванні типу невизначеності та зашумленості даних та врахуванні наявних обчислювальних ресурсів системи аналізу стану об'єкту. Новизна методу також полягає у використанні комбінованих процедур навчання (лінійне навчання та процедура навчання на для штучних нейронних мереж, що еволюціонують) та вибіркового задіяння ресурсів системи за рахунок підключення тільки необхідних типів детекторів.*

*Метод дозволяє побудувати класифікатор верхнього рівня за допомогою різних низькорівневих схем їх комбінування та агрегуючих композицій. Використання методу дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 12–20 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.*

*Ключові слова: інформаційні системи спеціального призначення, оперативність обробки інформації, обчислювальні потужності.*

### 1. Вступ

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:

- штучному інтелекті та нанотехнологіях;
- ефективній обробці великих масивів інформації;

– багатофункціональних процесорах зі здатністю підтримки прийняття рішень у реальному масштабі часу;

– технологіях стиснення даних для підвищення швидкості їх обробки.

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

Разом з тим підвищення динамічності операцій, зростання кількості різноманітних сенсорів та необхідність інтеграції їх у єдиний інформаційний простір створює ряд проблем [1–8]:

– реалізовані алгоритми встановлення кореляцій між подіями недостатньо повно враховують надійність джерел розвідувальних відомостей і достовірність інформації в динаміці бойових дій;

– форми представлення інформації ускладнюють її передачу по каналам зв'язку;

– обмежені обчислювальні потужності апаратних засобів;

– обмежена пропускну здатність каналів передачі даних;

– радіоелектронне подавлення каналів короткохвильового та ультракороткохвильового радіозв'язку та кібернетичний вплив на інформаційні системи;

– збільшення кількості ознак, за якими відбувається оцінювання стану об'єктів моніторингу;

– різнотипність показників, за якими відбувається оцінювання стану об'єктів моніторингу;

– необхідність обробки великої кількості вхідних даних, за якими відбувається оцінювання стану об'єктів моніторингу;

– різнотипність джерел добування розвідувальних відомостей;

– 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 оцінку стану об'єкту моніторингу від різнотипних джерел розвідувальних відомостей.

Враховуючи зазначене, актуальним науковим завданням є розробка методу оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення.

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

В роботі [9] представлений алгоритм когнітивного моделювання. Визначено основні переваги когнітивних інструментів. До недоліків зазначеного підходу слід віднести відсутність врахування типу невизначеності про стан об'єкту аналізу.

В роботі [10] розкрито суть когнітивного моделювання та сценарного планування. Запропонована система взаємодоповнюючих принципів побудови і реалізації сценаріїв, виділені різні підходи до побудови сценаріїв, описана процедура моделювання сценаріїв на основі нечітких когнітивних карт. Запропонований авторами підхід не дозволяє врахувати тип невизначеності про стан об'єкту аналізу та не враховує зашумленість початкових даних.

В роботі [11] проведений аналіз основних підходів до когнітивного моделювання. Когнітивний аналіз і дозволяє: дослідити проблеми з нечіткими чинниками і взаємозв'язками; враховувати зміни зовнішнього середовища та використовувати об'єктивно сформовані тенденції розвитку ситуації в своїх інтересах. Разом з тим, в зазначеній роботі не дослідженим залишається питання опису складних та динамічних процесів.

В роботі [12] представлено метод аналізу великих масивів даних. Зазначений метод орієнтований на пошук скритої інформації в великих масивах даних. Метод включає операції генерування аналітичних базових ліній, зменшення змінних, виявлення розріджених ознак та наведення правил. До недоліків зазначеного методу належить неможливість врахування різних стратегій оцінювання рішень, відсутність врахування типу невизначеності вхідних даних.

В роботі [13] наведений механізм трансформації інформаційних моделей об'єктів будівництва до їх еквівалентних структурних моделей. Цей механізм призначений для автоматизації необхідних операцій з перетворення, модифікації та доповнення під час такого обміну інформацією. До недоліків зазначеного підходу слід віднести неможливість оцінити адекватність та достовірність процесу трансформації інформації, а також провести відповідну корекцію отриманих моделей.

В роботі [14] проведено розробку аналітичної web-платформи для дослідження географічного та часового розподілу інцидентів. Web-платформу, містить декілька інформаційних панелей зі статистично значущими результатами за територіями. До недоліків зазначеної аналітичної платформи належить неможливість оцінити адекватність та достовірність процесу трансформації інформації, а також висока обчислювальна складність. Також до недоліків зазначеного дослідження слід віднести не однонаправленість пошуку рішення.

В роботі [15] проведено розробку методу нечіткого ієрархічного оцінювання якості обслуговування бібліотек. Зазначений метод дозволяє провести оцінювання якості бібліотек за множиною вхідних параметрів. До недоліків зазначеного методу слід віднести неможливість оцінити адекватність та достовірність оцінки та відповідно визначити похибку оцінювання.

В роботі [16] проведено аналіз 30 алгоритмів обробки великих масивів даних. Показано їх переваги та недоліки. Встановлено, що аналіз великих масивів даних повинен проводитися пошарово, відбуватися в режимі реального часу та мати можливість до самонавчання. До недоліків зазначених методів слід віднести їх велику обчислювальну складність та неможливість провести перевірку адекватності отриманих оцінок.

В роботі [17] представлено підхід з оцінки вхідних даних для систем підтримки та прийняття рішень. Сутність запропонованого підходу полягає в класифікації базового набору вхідних даних, їх аналізу, після чого на підставі аналізу відбувається навчання системи. Недоліками зазначеного підходу є поступове накопичення помилки оцінювання та навчання в зв'язку з відсутністю можливості оцінки адекватності прийнятих рішень.

В роботі [18] представлено підхід щодо обробки даних з різних джерел інформації. Зазначений підхід дозволяє проводити обробку даних з різних дже-

рел. До недоліків зазначеного підходу слід віднести низьку точність отриманої оцінки та неможливість здійснити перевірку достовірності отриманої оцінки.

В роботі [19] проведений порівняльний аналіз існуючих технологій підтримки прийняття рішень, а саме: метод аналізу ієрархій, нейронні мережі, теорія нечітких множин, генетичні алгоритми і нейро-нечітке моделювання. Вказані переваги і недоліки даних підходів. Визначено сфери їх застосування. Показано, що метод аналізу ієрархій добре працює за умови повної початкової інформації, але в силу необхідності порівняння експертами альтернатив і вибору критеріїв оцінки має високу частку суб'єктивізму. Для задач прогнозування в умовах ризику і невизначеності обґрунтованим є використання теорії нечітких множин і нейронних мереж.

В роботі [20] розроблено метод структурно-цільового аналізу розвитку слабоструктурованих систем. Підхід до дослідження конфліктних ситуацій, що викликані протиріччями в інтересах суб'єктів, які впливають на розвиток досліджуваної системи і методи вирішення слабоструктурованих проблем на підставі формування сценаріїв розвитку ситуації. При цьому проблема визначається як невідповідність існуючого стану системи необхідному, яке задано суб'єктом управління. Разом з тим, до недоліків запропонованого методу слід віднести проблему локального оптимуму та неможливість проведення паралельного пошуку.

В роботі [21] представлено когнітивний підхід до імітаційного моделювання складних систем. Показано переваги зазначеного підходу, який дозволяє описати ієрархічні складі системи. До недоліків запропоновано підходу слід віднести відсутність врахування обчислювальних ресурсів системи.

Проведення аналізу праць [9–21] показав що спільними недоліками вищезазначених досліджень є:

- не врахування впливу дестабілізуючих факторів, що впливають на ефективність функціонування інформаційних системах спеціального призначення;
- існуючі методи оцінки стану об'єкту моніторингу призначені для інформаційних систем цивільного призначення, що не дозволяє їх використовувати для систем спеціального призначення;
- різнотипність джерел добування інформації;
- відсутність можливості формування ієрархічної системи показників;
- відсутність врахування обчислювальних ресурсів системи;
- відсутність механізмів корегування системи показників в ході оцінювання;
- відсутність механізмів глибокого навчання баз знань;
- відсутність врахування обчислювальних ресурсів, доступних в системі.

З цією метою пропонується провести розробку методу підвищення оперативності оцінки в інформаційних системах спеціального призначення.

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

Метою дослідження є підвищення оперативності обробки даних в інформаційних системах спеціального призначення з заданою достовірністю.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- постановка завдання з оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення;

- розробка методу підвищення оперативності оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення;
- навести приклад застосування запропонованого методу при аналізі оперативної обстановки угруповання військ (сил).

#### 4. Матеріали та методи досліджень

В ході проведеного дослідження використовувалися загальні положення теорії штучного інтелекту – для вирішення задачі аналізу стану об'єктів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Тобто, теорія штучного інтелекту є основою зазначеного дослідження. В дослідженні використано нечіткі когнітивні моделі, удосконалений генетичний алгоритм та штучні нейронні мережі, що еволюціонують. Моделювання проводилося з використанням програмного забезпечення MathCad 2014 (США) та ПЕОМ Intel Core i3 (США).

#### 5. Результати дослідження з розробки методу оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення

##### 5.1. Постановка завдання з оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення

Нехай система управління процесом аналізу стану об'єктів представляється у вигляді знакового орієнтованого графа. Загалом завдання визначення стану об'єкту моніторингу зводиться до розрахунків відповідно до формули:

$$A_i(k+1) = f \left( \left( A_i(k) + \sum_{j \neq i, j=1}^N A_j(k) W_{ij} \right) \times \tau_{ij} \right) \times \zeta_{ij}, \quad (1)$$

де  $A_i(k+1)$  – новий стан вершини графа,  $A_i(k)$  – попередній стан графа,  $W_{ij}$  – матриця ваги,  $f$  – порогова функція графу,  $\tau_{ij}$  – оператор, що враховує ступінь інформованості про стан об'єкту;  $\zeta_{ij}$  – оператор для врахування ступеню зашумленості даних про стан об'єкту. Процес розрахунку є ітеративним – після завершення початкових станів вершин значення станів перераховуються до тих пір, поки різниця між поточними та попередніми станами не виявиться меншою за деяке задане значення.

Вираз (1) дозволяє сформулювати опис стану об'єкту моніторингу за допомогою його представлення його у вигляді графа. Граф будується для кожного окремого об'єкту. Зазначений опис є універсальним та дозволяє описати об'єкт аналізу з урахуванням ієрархічності та індивідуальної специфіки кожного об'єкту моніторингу. При записі виразу (1) в формі багатовимірною часового ряду, процес опису можна привести для динамічної системи. Вираз (1) при побудові математичного опису стану об'єкту моніторингу враховує ступінь інформованості про стан об'єкту та зашумленість даних.

## 5. 2. Розробка методу підвищення оперативності оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень

Метод оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень складається з наступної послідовності дій (рис. 1).

Алгоритм реалізації запропонованого методу складається з наступної послідовності дій.

1. Введення вихідних даних.

На даному етапі відбувається введення вихідних даних про стан об'єкту моніторингу. Визначається кількість джерел технічних засобів моніторингу, тип вихідних даних та їх обсяг.

2. Визначення ступеня невизначеності вихідних даних.

На даному етапі визначається ступінь невизначеності вихідних даних на підставі попередніх досліджень авторів. Ступінь невизначеності вихідних даних наступна: повна невизначеність; часткова невизначеність та повна обізнаність [2, 23].

3. Побудова дерева класифікаторів.

Зазначений етап методу може бути охарактеризований як підготовчий, він містить у собі вибір:

- структури окремих бінарних класифікаторів (детекторів);
- розмірності та числа шарів,
- параметрів і алгоритмів навчання;
- типів функцій активації, функцій належності та ядерних функцій [24–28].

Для кожного детектора складається набір навчальних правил. Задаючи різну сукупність таких наборів правил, можна сформувати групу детекторів, кожний з яких побудовано на основі штучної нейронної мережі, що еволюціонує. Детектори усередині кожної такої групи поєднуються в класифікатор на основі підходів один-до-усіх (one-vs-all), один-до-одного (one-vs-one) або їх різних похідних варіацій [28–35].

У першому підході кожний детектор  $F_{jk}^{(k)} : \mathbb{R} \rightarrow \{0,1\}$  ( $k = 1, \dots, m$ ) навчається на даних  $\{x_l, [c_l = k]\}_{l=1}^M$ , і функціонування групи детекторів  $F_{jk}^{(k)}$  описується за допомогою принципу, що виключає:

$$F_j^{(i)}(z) = \begin{cases} \{0\}, & \text{якщо } \forall k \in \{1, \dots, m\} F_{jk}^{(i)}(z) = 0, \\ \left\{ k \mid F_{jk}^{(i)}(z) = 1 \right\}_{k=1}^m, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (2)$$

У другому підході кожний з  $C_{m+1}^2 = \frac{(m+1) \cdot m}{2}$  детекторів  $F_{jk_0k_1}^{(k)}$  навчається на множині об'єктів, що належать тільки двом класам з мітками  $k_0$  і  $k_1$ ,  $-\{(x_l, 0 \mid \bar{c}_l = k_0)\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1 \mid \bar{c}_l = k_1)\}_{l=1}^M$ ,  $0 \leq k_0 < k_1 \leq m$  та функціонування групи детекторів  $F_j^{(i)}$  задається за допомогою голосування max-wins:

$$F_j^{(i)} = \left\{ \arg \max_{\bar{c} \in \{0, \dots, m\}} \sum_{k=\bar{c}+1}^m [F_{j\bar{c}k}^{(i)}(z) = 0] + \sum_{k=0}^{\bar{c}-1} [F_{j\bar{c}k}^{(i)}(z) = 1] \right\}. \quad (3)$$

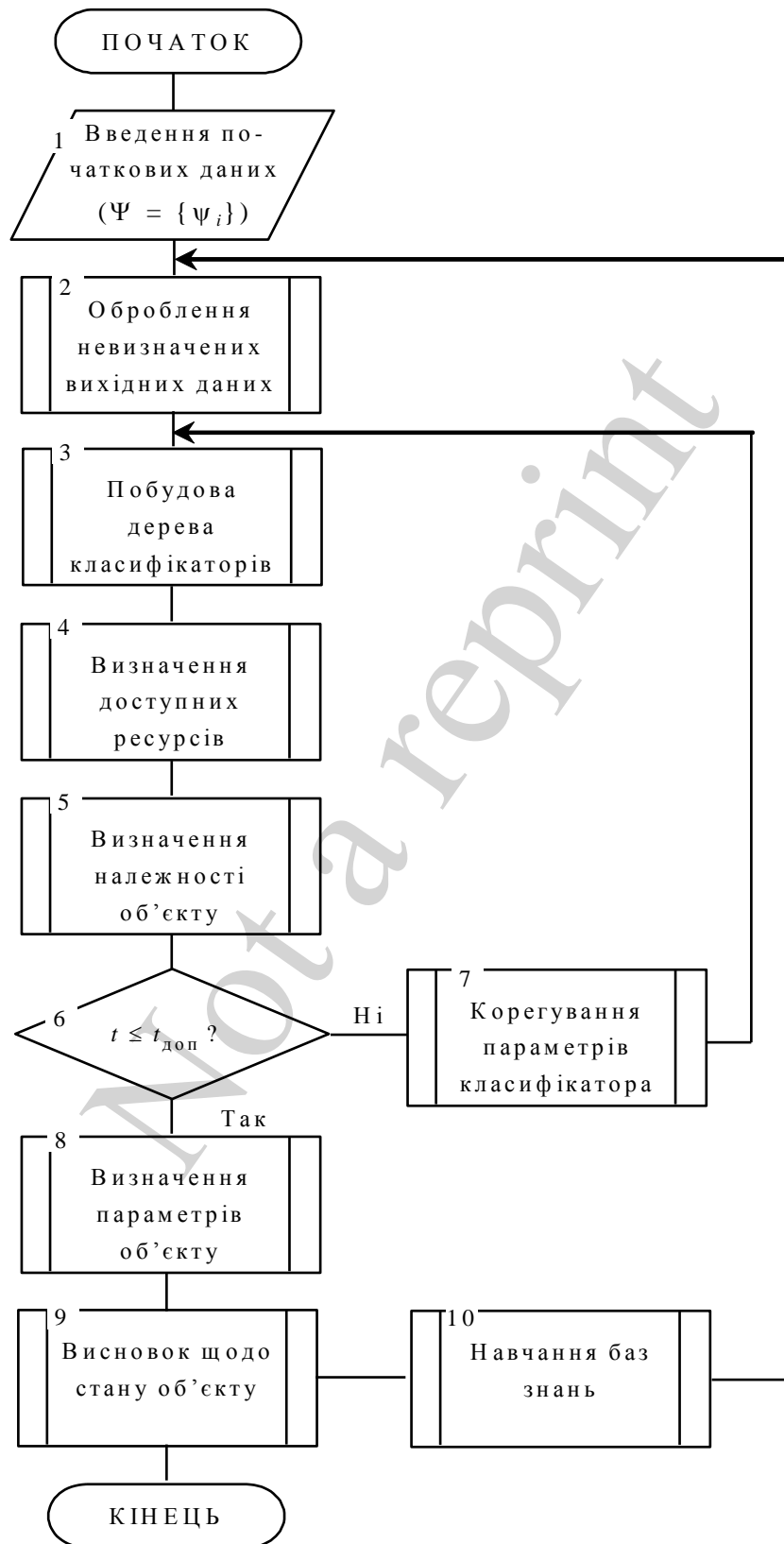


Рис. 1. Алгоритм реалізації методу аналізу стану об'єкту

#### 4. Визначення доступних апаратних обчислювальних ресурсів.

На даному етапі визначаються доступні апаратні обчислювальні ресурси мережі. На підставі чого визначаються можливі варіанти класифікації: бінарне класифікаційне дерево, генетичний алгоритм, нечіткі когнітивні моделі та ациклічний граф.

У табл. 1 наведені характеристики розглянутих схем об'єднання детекторів у багатокласову модель, призначену для співвіднесення вхідного об'єкта однієї або декільком з  $(m+1)$  міток класів.

Таблиця 1

Характеристики схем об'єднання детекторів

Схема об'єднання	Число детекторів, що підлягає навчанням	Мінімальне число детекторів, задіяних при класифікації об'єктів	Максимальне число детекторів, задіяних при класифікації об'єктів
один-до-усіх	$m$	$m$	$m$
один-до-одного	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$
Класифікаційне бінарне дерево	$m$	1	$m$
Спрямований ациклічний граф	$\frac{(m+1) \cdot m}{2}$	$m$	$m$
Нечітка когнітивна модель	$(m^*x) * m$	$(m^*x)$	$(m^*x) * m$
Генетичний алгоритм	$(m^*x)$	$m$	$(m^*x)$

#### 5. Визначення належності об'єкту моніторингу до певного класу

У якості однієї з похідних варіацій попередніх підходів для комбінування детекторів може бути згадане класифікаційне бінарне дерево [25]. Формально така структура задається рекурсивно в такий спосіб:

$$CBT_{\mu} = \begin{cases} \left\langle F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}, CBT_{L_{\mu}}, CBT_{R_{\mu}} \right\rangle, & \text{якщо } \# \mu \geq 2, \\ \mu, & \text{якщо } \# \mu = 1. \end{cases} \quad (4)$$

де  $\mu = \{0, \dots, m\}$  – вихідний набір міток класів,  $L_{\mu} \subsetneq \mu$  – довільно згенерована або визначене підмножина;  $\mu (\# L_{\mu} < \# \mu)$ ,  $R_{\mu} = \mu \setminus L_{\mu}$  – ліве класифікаційне піддерево,  $CBT_{R_{\mu}}$  – праве класифікаційне піддерево,  $F_{jL_{\mu}R_{\mu}}^{(i)}$  – вузловий детектор, навчений на елементах множини  $\{(x_l, 0) | \bar{c}_l \in L_{\mu}\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1) | \bar{c}_l \in R_{\mu}\}_{l=1}^M$ .



Вихідний результат детектора настроюється таким чином, щоб він дорівнював 0, якщо вхідний об'єкт  $x_l$  належить класу з міткою  $\bar{c}_l \in L_\mu$ , і 1, якщо об'єкт  $x_l$  належить класу з міткою  $\bar{c}_l \in L_\mu$ .

Тому функціонування групи детекторів  $F_j^{(i)}$ , представлених у вигляді вузлів такого дерева, описується за допомогою рекурсивної функції  $\phi_j^{(i)}$ , що задає послідовну дихотомію множини  $\mu$ :

$$F_j^{(i)} = \phi_j^{(i)}(\mu, z),$$

$$\phi_j^{(i)}(\mu, z) = \begin{cases} \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1, \\ \phi_j^{(i)}(L_\mu, z) & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{jL_\mu R_\mu}^{(i)}(z) = 0, \\ \phi_j^{(i)}(R_\mu, z) & \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{jL_\mu R_\mu}^{(i)}(z) = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Застосування функції  $\phi_j^{(i)}$  до вихідного набору міток класів і об'єкту моніторингу дозволяє здійснювати однозначний пошук мітки класу цього об'єкту. Це пояснюється тим, що оскільки під час спуску вниз по класифікаційному дереву відбувається диз'юнктивне розбиття множини міток класів. Після досягнення та спрацьовування термінального детектора залишається тільки одна можлива мітка для класифікації вхідного об'єкта  $z$  у якості вихідного результату  $F_j^{(i)}$ . Тому для класифікаційного дерева неможливі конфліктні випадки при класифікації об'єктів, які можуть мати місце для двох інших підходів комбінування.

Іншим підходом є спрямований ациклічний граф, який організує  $C_{m+1}^2 = \frac{(m+1) \cdot m}{2}$  детекторів у зв'язну динамічну структуру, яка може бути задана наступною формулою:

$$DAG_\mu = \begin{cases} \left\langle F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}, DAG_{\mu \setminus \{k_0\}}, DAG_{\mu \setminus \{k_1\}} \right\rangle, & \text{якщо } \#\mu \geq 2, \text{ де } k_0 \in \mu, k_1 \in \mu, \\ \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Тут, як і в підході один-до-одного, кожний вузловий детектор  $F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}$  навчається на елементах  $\{(x_l, 0 | \bar{c}_l = k_0)\}_{l=1}^M \cup \{(x_l, 1 | \bar{c}_l = k_1)\}_{l=1}^M$  ( $k_0 < k_1$ ). Обхід розглянутого графа виконується за допомогою рекурсивної функції  $\xi_j^{(i)}$ , що задає заелементне „відщиплення“ від множини  $\mu$ :

$$F_j^{(i)} = \xi_j^{(i)}(\mu, z),$$

$$\xi_j^{(i)}(\mu, z) = \begin{cases} \mu, & \text{якщо } \#\mu = 1, \\ \xi_j^{(i)}(\mu \setminus \{k_1\}, z), & \\ \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}(z) = 0, & \\ \xi_j^{(i)}(\mu \setminus \{k_0\}, z), & \\ \text{якщо } \#\mu \geq 2 \wedge F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}(z) = 1. & \end{cases} \quad (7)$$

Якщо детектор  $F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}$  голосує за  $k_0$ -ий клас для об'єкта  $z$ , тобто  $F_{j\mu k_0 k_1}^{(i)}(z) = 0$ , то з множини  $\mu$  видаляється мітка  $k_1$  як свідомо невірна, а якщо ні, то виключається мітка  $k_0$ . Процес повторюється доти, поки множина  $\mu$  не вироджується в одноелементне.

З розглянутих шести схем тільки одна, а саме класифікаційне бінарне дерево, має змінне число детекторів, які можуть використовуватися в процесі класифікації об'єктів.

Мінімальне значення досягається, коли активується детектор  $F_{jL_\mu R_\mu}^{(i)}$ , розташований у корені дерева та навчений для розпізнавання тільки одного класу об'єктів серед усіх інших, і  $F_{jL_\mu R_\mu}^{(i)}(z) = 0$  ( $F_{jL_\mu R_\mu}^{(i)}(z) = 1$ ) тобто коли  $\#L_\mu = 1$  ( $\#R = 1$ ). Максимальне значення досягається, коли дерево представляється послідовним списком і активується найбільш вилучений у ньому детектор.

У випадку збалансованого дерева цей показник може становити величину  $\lfloor \log_2(m+1) \rfloor$  або  $\lceil \log_2(m+1) \rceil$ . Кожний класифікатор  $F^{(i)}$  ( $i=1, \dots, P$ ) містить  $q_i$  груп  $F_j^{(i)}$  ( $j=1, \dots, q_i$ ), кожна з яких поєднує  $m$  детекторів  $F_{jk}^{(i)}$  ( $k=1, \dots, m$ ) за допомогою підходу один-до-усіх. Кожна із груп детекторів  $F_j^{(i)}$  навчається на різних випадкових вибірках, які можуть включати повторювані та переупорядковані елементи з вихідного навчального набору  $\gamma_{z_c^{(LS)}}$ . Об'єднання груп  $F_j^{(i)}$  у класифікатор  $F^{(i)}$  здійснюється на основі гібридного правила, що представляє собою суміш голосування більшістю й голосування max-wins:

$$F^{(i)}(z) = \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \underbrace{\bar{c} \left| \sum_{j=1}^{q_i} \left[ \bar{c} \in F_j^{(i)}(z) \right] }_{\Xi_i(\bar{c})} > \frac{1}{2} \cdot q_i \wedge \right. \\ \left. \wedge \Xi_i(\bar{c}) = \max_{\bar{c}' \in \{0, \dots, m\}} \Xi_i(\bar{c}') \right\}_{\bar{c}=0} \end{array} \right. \quad (8)$$

В даній формулі за рахунок вимоги  $\Xi_i(\bar{c}) > \frac{1}{2} \cdot q_i$  класифікатор  $F^{(i)}$  стає нездатним вирішувати конфлікти, які виникають за умови  $\# \left\{ \bar{c} \mid \Xi_i(\bar{c}) = \frac{1}{2} \cdot q_i \wedge \Xi_i(\bar{c}) = \max_{\bar{c}' \in \{0, \dots, m\}} \Xi_i(\bar{c}') \right\}_{\bar{c}=0}^m = 2$  (у цьому випадку виходом класифікатора є порожня множина  $\emptyset$ ).

У процесі роботи інтерпретатора перевіряється коректність оброблюваних даних і ініціалізуються поля об'єктів усередині дерева класифікаторів. За рахунок використання такої структури в рамках запропонованого методу стає можливим будувати багаторівневі схеми.

Даний метод має розподілену архітектуру, у яких збір даних здійснюється вторинними вузлами-сенсорами (технічними засобами розвідки), а вся обробка агрегованих потоків даних виконується на централізованому сервері.

6. Визначення параметрів об'єкту відповідного класу.

Зазначений етап методу, виконуваний на стороні сенсорів (технічних засобів розвідки), полягає в складанні необроблених розвідувальних відомостей у класифікаційні блоки, виділенні їх параметрів і виконанні аналізу з використанням декількох паралельних алгоритмів шаблонного пошуку.

Суть процедури полягає в розбивці заданого часового інтервалу  $\Delta_0^{(L)} = [0, L]$  довжиною  $L$ , протягом якого проводиться безперервне спостереження за рядом параметрів, на трохи більш дрібних інтервалах  $\Delta_0^{(L')}, \Delta_{\delta}^{(L')}, \dots, \Delta_{\delta(k-1)}^{(L')}$  однакової довжини  $0 < L' \leq L$ , початок кожного з яких має зсув  $0 < \delta \leq L'$  відносно початку попереднього інтервалу. Причому  $\bigcup_{i=0}^{k-1} \Delta_{\delta-i}^{L'} \subseteq \Delta_0^{(L)}$  й  $\bigcup_{i=0}^k \Delta_{\delta-i}^{L'} \supseteq \Delta_0^{(L)}$  тому  $k = 1 + \left\lfloor \frac{L - L'}{\delta} \right\rfloor$ . Протягом проміжків часу  $\Delta_0^{(L')}, \dots, \Delta_{\delta(k-1)}^{(L')}$  відбувається фіксація значень  $\omega_0, \dots, \omega_{k-1}$  параметрів, і їх середня величина (інтенсивність) та у рамках часового вікна довжини  $L'$  розраховується по формулі 
$$\bar{\omega} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=0}^{k-1} \omega_i.$$

У дослідженні використовувався інтервал зі значенням параметра  $L$ , рівним п'яти секундам. Довжина інтервалу, що  $L'$  згладжує, була обрана рівній одній секунді. Зсув  $\delta$  був установлений у півсекунди. подібний підхід дозволяє усунути рідкі по частоті й випадкові мережні сплески й тим самим знизити число неправильних спрацьовувань.

7. Попередня обробка даних про об'єкт аналізу.

Перед безпосереднім навчанням детекторів виконується попередня обробка даних параметрів для зменшення ефекту їх сильної мінливості.

Багато методів, включаючи нейронні мережі та метод головних компонентів, чутливі до такого роду флуктуаціям і вимагають, щоб усі ознаки оброблюваних векторів мали однаковий масштаб.

7. 1. Нормалізація компонентів вектору.

Перший крок попередньої обробки кожного компонента  $x_{ij}$  вектору  $x_i \in \{x_k\}_{k=1}^M$  включає його нормалізацію за допомогою функції

$$f(x_{ij}) = \frac{x_{ij} - x_j^{(\min)}}{x_j^{(\max)} - x_j^{(\min)}} \quad (\text{у випадку } x_j^{(\max)} = x_j^{(\min)} \text{ можна вважати } f(x_{ij}) = 0), \text{ де}$$

$$x_j^{(\min)} = \min_{1 \leq i \leq M} x_{ij} \quad \text{та} \quad x_j^{(\max)} = \max_{1 \leq i \leq M} x_{ij}.$$

## 7. 2. Мінімізація простору ознак.

Зменшення числа значимих ознак, яке досягається за допомогою методу головних компонентів [26–30], описуваного як послідовність наступних кроків.

7. 2. 1. Обчислення математичного очікування випадкового вектору, представленого в цьому випадку у вигляді елементів набору навчальних даних:

$$\left\{ x_i = \left\{ x_{ij} \right\}_{j=1}^n \right\}_{i=1}^M :$$

$$\bar{x} = \left( \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M x_{i1}, \dots, \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M x_{in} \right)^T. \quad (9)$$

7. 2. 2. Формування елементів незміщеної теоретичної коваріаційної матриці:

$$\Sigma = (\sigma_{ij})_{\substack{i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, n}} :$$

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{k=1}^M (x_{ki} - \bar{x}_i) \cdot (x_{kj} - \bar{x}_j). \quad (10)$$

7. 2. 3. Знаходження власних чисел  $\{\lambda_i\}_{i=1}^n$  і власних векторів  $\{v_i\}_{i=1}^n$  матриці  $\Sigma$  як корінь рівнянь (із цією метою використовувався метод обертань Якобі):

$$\begin{cases} \det(\Sigma - \lambda \cdot \mathbf{I}) = 0, \\ (\Sigma - \lambda \cdot \mathbf{I}) \cdot v = 0, \end{cases} \quad (11)$$

де  $\mathbf{I}$  — одинична матриця розміром  $n \times n$ .

7. 2. 4. Ранжування власних чисел  $\{\lambda_i\}_{i=1}^n$  у порядку їх убавання й відповідних їм власних векторів  $\{v_i\}_{i=1}^n$ :

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0. \quad (12)$$

7. 2. 5. Відбір необхідного числа  $\hat{n} \leq n$  головних компонентів:

$$\hat{n} = \min \left\{ j \mid \varsigma(j) \geq \varepsilon \right\}_{j=1}^n, \quad (13)$$

де  $\varsigma(j) = \frac{\sum_{i=1}^j \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$  – захід інформативності [1],  $0 \leq \varepsilon \leq 1$  – експертно обирає

величина.

7. 2. 6. Центрування вектору ознак  $z : z_c = z - \bar{x}$ .

7. 2. 7. Проектування центрованого вектору ознак  $z_c$  у нову систему координат, що задається ортонормованими векторами  $\{v_i\}_{i=1}^{\hat{n}}$

$$y = (y_1, \dots, y_{\hat{n}})^T = (v_1, \dots, v_{\hat{n}})^T \cdot z_c,$$

$y_i = v_i^T \cdot z_c$  називається  $i$ -ою головною компонентною вектору  $z$ .

8. Ієрархічний обхід дерева класифікаторів по ширині.

Зазначений етап методу з погляду обчислювальних ресурсів є найбільш трудомістким і складається з наступних рекурсивно повторюваних послідовностей дій: обчислення залежностей поточного класифікатора, формування вхідних сигналів для поточного класифікатора та навчання поточного класифікатора.

Навчання кожного класифікатора породжує запит на навчання класифікаторів, що внизу, зазначених у списку його залежностей, і генерацію їх вихідних даних для формування вхідних даних класифікатора, що вище.

Наслідком каскадного навчання є “ледаче” завантаження класифікаторів: у навчанні (розпізнаванні) беруть участь ті класифікатори, які зустрічаються в списку залежностей класифікатора, відповідального за формування загального рішення в колективі класифікаційних правил.

Ця властивість є особливо вигідною при розборі динамічних правил навчання класифікаторів, тобто таких правил, від успішного або неуспішного спрацьовування яких залежить ініціалізація іншого правила. Зокрема, це характерно для класифікаційного дерева, коли правила є вкладеними один у одного.

Метод надає можливість будувати багаторівневі схеми з довільною вкладеністю класифікаторів один одного і їх “лінивим” підключенням у процесі аналізу вхідного вектору.

### 5. 3. Приклад застосування запропонованого методу при аналізі оперативної обстановки угруповання військ (сил)

Проведено моделювання роботи методу пошуку рішень відповідно до алгоритму на рис. 2 та виразів (1)–(13). Проведено моделювання роботи запропонованої методу оцінки в програмному середовищі MathCad 14 (США). В якості задачі, що вирішувалася при проведенні моделювання була оцінка елементів оперативної обстановки угруповання військ (сил).

Вихідні дані для оцінки стану оперативної обстановки з використанням запропонованого методу:

– кількість джерел інформації, про стан об'єкту моніторингу – 3 (засоби радіомоніторингу, засоби дистанційного зондування землі та безпілотні літальні апарати). В якості джерел розвідувальних відомостей використовувалися засоби радіотехнічних розвідки “Кольчуга-М”(Україна), зображення від супутнику “Січ-1М” (Україна) та розвідувальні відомості від безпілотних літальних апаратів “Лелека”(Україна). Моделювання було проведено в частині моніторингу угруповання ЗС РФ на кордоні з Україною.

Для спрощення моделювання було взято однакову кількість кожного засобу – по 4 засоби;

– кількість інформаційних ознак по яким відбувається визначення стану об'єкту моніторингу – 12. До таких параметрів відносяться: належність, тип організаційно-штатного формування, пріоритетність, мінімальна ширина по фронту, максимальна ширина по фронту. Також враховується кількість особового складу, мінімальна глибина по флангу, максимальна глибина по флангу, загальна чисельність особового складу, кількість зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), кількість типів зразків ОВТ та кількість засобів зв'язку);

– варіанти організаційно-штатних формувань – рота, батальйон, бригада.

Позначимо, які параметри для кожного типу операторів розглядалися. Метод був апробована при пропорційній селекції (обсяг 18 %); рекомбінації: середня. Щоб визначити найбільш ефективну комбінацію налаштувань для кожної окремої розглянутої схеми необхідно всі інші параметри пошуку залишити однаковими. Обсяг популяції був обраний рівним 50, число популяцій – 50. Значені дані взяті відповідно до орієнтовної чисельності командних пунктів оперативно-тактичного угруповання військ (сил). Порівняння алгоритмів здійснюється за критерієм придатності отриманих рішень. Число незалежних запусків у експериментах – 100. Швидкість оцінювалася як середнє покоління, на якому алгоритм знаходить глобальний оптимум.

Порівнювалися кілька різних оптимізаційних алгоритмів вирішення поставленої екстремальної задачі (15). Серед них: класичний бінарний генетичний алгоритм; дійсний генетичний алгоритм; запропонований метод та генетичний алгоритм з алгоритмом налаштування Population-Level Dynamic Probabilities (PDP). При цьому кількість обчислень цільової функції для роботи генетичних алгоритмів було вибрано рівним числу вимірювань цільової функції, в циклах яких використовувалося локального поліпшення [24].

В табл. 2 наведені результати порівняння для запропонованого методу та відомих при пошуку в одному напрямку, пошуку в двох напрямках та пошуку в трьох напрямках.

За результати аналізу даних, що наведені в табл. 2 видно, що запропонований метод має прийнятну обчислювальну складність. Запропонований метод дозволяє отримувати адекватні рішення при складній ієрархічній структурі об'єкту моніторингу. Ефективність запропонованого методу в середньому складає від 12 до 20 % при різних схемах комбінування.

Таблиця 2

## Часові та системні витрати навчання та тестування

Індикатори			Схеми комбінування			
			one-vs-all	one-vs-one	CBT	DAG
Навчання: кількість навчальних екземплярів — 8000						
Однопотоківий режим	Час (сек.)	min	11235.000	4569.000	4679.000	4660.000
		max	12 228.000	5218.000	5092.000	6148.000
		avg	11822.000	4967.333	4880.000	5217.333
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	92.700	92.700	92.700	92.700
		max	100.000	100.000	100.000	100.000
		avg	99.215	99.194	99.219	99.220
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	62.496	64.309	62.492	64.324
		max	92.352	98.996	94.219	99.563
		avg	95.487	97.688	99.067	97.435
багатонапрв-лений режим	Час (сек.)	min	1782.000	754.000	900.000	743.000
		max	6996.000	875.000	1228.000	880.000
		avg	2767.429	823.429	1059.143	831.571
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	92.700	92.700	92.700	92.800
		max	800.000	800.000	800.000	800.000
		avg	455.184	579.644	445.293	610.500
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	62.496	64.305	62.504	64.324
		max	83.867	66.070	68.820	66.090
		avg	263.452	480.843	248.808	480.758
Тестування: кількість тестовий екземплярів — 16000						
Однопотоківий режим	Час (сек.)	min	383.000	985.000	176.000	296.000
		max	387.000	1019.000	182.000	301.000
		avg	384.667	996.667	179.000	298.000
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	92.800	92.800	92.700	92.800
		max	100.000	100.000	100.000	100.000
		avg	99.197	99.177	99.123	99.212
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	63.656	65.289	63.395	65.348
		max	88.957	90.816	88.125	90.500
		avg	82.348	84.368	79.987	83.629
багатонапрв-лений режим	Час (сек.)	min	644.000	1764.000	288.000	563.000
		max	701.000	1789.000	324.000	576.000
		avg	660.857	1776.857	308.286	569.429
	Завантаженість центрального процесора (%)	min	86.400	86.300	59.800	59.700
		max	93.000	96.100	93.000	72.800
		avg	113.028	119,584	99.806	100.081
	Завантаження оперативної пам'яті (%)	min	64.477	66.301	63.934	67.000
		max	91.031	92.215	88.473	91.250
		avg	82.987	84.877	80.397	84.525

## 6. Обговорення результатів з розробки методу оцінки

Розроблений формалізований підхід дозволяє проводити оцінку високодинамічних, складних та ієрархічних об'єктів. Це створює універсальність підходу та дозволяє проводити оцінку різнотипних об'єктів, що мають різне походження та належність до ланки управління.

Розроблено метод оцінки стану об'єкту моніторингу в інформаційних системах спеціального призначення.

Основними перевагами запропонованого методу оцінки є:

- має гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників (вираз (1));
- однозначність отриманої оцінки стану об'єкту (вирази (1)–(13), табл. 1;
- універсальність застосування за рахунок адаптації системи показників в ході роботи (вирази (1), (4));
- не накопичує помилку навчання за рахунок використання процедур навчання;
- врахування типу невизначеності та зашумленості вихідних даних (вираз (1));
- висока достовірність отриманих рішень при пошуку рішення у декількох напрямках (вирази (1)–(13));
- можливість об'єднання різнорідних вирішувачів без суворої прив'язки до композиції, що агрегує їх виходи (вирази (1)–(13));
- можливості вибору найкращої схеми комбінування вирішувачів (вирази (1)–(13)).

До недоліків запропонованого методу слід віднести:

- втрата інформативності при оцінюванні стану об'єкту моніторингу за рахунок побудови функції належності;
- менша точність оцінювання по окремо взятому параметру оцінки стану об'єкту;
- втрата достовірності отриманих рішень при пошуку рішення в декількох напрямках одночасно;
- менша точність оцінювання у порівнянні з іншими методами оцінки.

Зазначений метод дозволить:

- провести оцінку стану об'єкту;
- визначити ефективні заходи для підвищення ефективності управління;
- підвищити швидкість оцінки стану об'єкту;
- зменшити використання обчислювальних ресурсів систем підтримки та прийняття рішень.

Запропонований підхід доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів, що характеризуються високим ступенем складності.

Зазначене дослідження є подальшим розвитком досліджень, що спрямовані на розробку методологічних засад підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення, що опубліковані вже раніше [2, 4–6, 23].



Напрямки подальших досліджень слід спрямувати на зменшення обчислювальних витрат при обробці різнотипних даних в системах спеціального призначення.

## **7. Висновки**

1. Формалізовано опис задачі аналізу стану об'єктів в інформаційних системах спеціального призначення, що є гнучким та універсальним. В якості критерію ефективності зазначеного методу обрано оперативність процесу аналізу стану об'єкту при заданій достовірності отриманої оцінки. В ході дослідження сформульована концепція представлення методу оцінки в інформаційних системах спеціального призначення. В зазначеній концепції процес аналізу представлено у вигляді ієрархічного графу. Це дозволяє створити ієрархічний опис складного процесу за рівнями узагальнення та провести відповідний аналіз його стану.

2. Визначено алгоритм реалізації методу, що дозволяє:

- враховується тип невизначеності та зашумленості даних;
- врахувати наявні обчислювальні ресурси системи аналізу стану об'єкту;
- провести точне навчання детекторів за рахунок комбінування процедур навчання (лінійне навчання та процедура навчання що розроблена в роботі [2]);
- вибірково задіяння ресурсів системи за рахунок підключення тільки необхідних типів детекторів;
- побудувати класифікатор верхнього рівня за допомогою різних низькорівневих схем їх комбінування та агрегуючих композицій.

3. Проведений приклад використання запропонованої методу на прикладі оцінки стану оперативної обстановки угруповання війсь (сил). Зазначений приклад показав підвищення ефективності обробки даних на рівні 12–20 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

## **Подяки**

Авторський колектив висловлює подяку за надання допомоги в підготовці статті:

– доктору технічних наук, професору Кувшинову Олексію Вікторовичу – заступнику начальника навчально-наукового інституту Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського;

– заслуженому діячу науки і техніки України, доктору технічних наук, професору Слюсарю Вадиму Івановичу – головному науковому співробітнику Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України;

– доктору технічних наук, професору Ротштейну Олександр Петровичу – професору Ієрусалимського політехнічного інституту Махон Лев;

– кандидату технічних наук, доценту Башкирову Олександр Миколайовичу – провідному науковому співробітнику Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

## Література

1. Шишацький, А. В., Башкиров, О. М., Костина, О. М. (2015). Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил. Озброєння та військова техніка, 1 (5), 35–40.
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et. al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. 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*, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., 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*, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et. al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O. et. al. (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*, 11 (5), 37–44. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)
8. Ротштейн, А. П. (1999). Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: “УНИВЕРСУМ”, 320.
9. Алпева, Е. А., Волкова, И. И. (2019). Использование нечетких когнитивных карт при разработке экспериментальной модели автоматизации производственного учета материальных потоков. *Экономика и промышленность*, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
10. Заграновская, А. В., Эйснер, Ю. Н. (2017). Моделирование сценариев развития экономической ситуации на основе нечетких когнитивных карт. *Современная Экономика: Проблемы и Решения*, 10, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>

11. Симанков, В. С., Путято, М. М. (2013). Исследование методов когнитивного анализа. Системный анализ, управление и обработка информации, 13, 31–35.
12. Ко, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
13. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
14. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
15. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
16. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
17. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
18. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
19. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
20. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
21. Горелова, Г. В. (2013). Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 3, 239–250.
22. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
23. Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et. al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
24. Емельянов, В. В., Курейчик, В. В., Курейчик, В. М., Емельянов, В. В. (2003). Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 432.

25. Гороховатський, В., Стяглик, Н., Царевська, В. (2021). Комбінаційний метод прискореного метричного пошуку даних у задачах класифікації зображень. *Сучасні інформаційні системи*, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
26. Левашенко, В. Г., Ляшенко, А. С., Кучук, Г. А. (2020). Построение системы поддержки принятия решений на основе нечетких данных. *Сучасні інформаційні системи*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
27. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
28. Кучук, Н. Г., Мерлак, В. Ю., Скороделов, В. В. (2020). Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних. *Сучасні інформаційні системи*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
29. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
30. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
31. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
32. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
33. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
34. Lovska, A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54. URL: [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_1/10%20Lovska.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/10%20Lovska.pdf)
35. Lovska, A., Fomin, O. (2020). A new fastener to ensure the reliability of a passenger car body on a train ferry. *Acta Polytechnica*, 60 (6). doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2020.60.0478>