

- Тимочко О.І.** Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків  
**Тімочко О.О.** Фірма «Кредитех», Гамбург, Німеччина  
**Дубовик Г.В.** Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, Київ  
**Берднік П.Г.** Харківський національний університет імені В.М. Каразіна, Харків

## МЕТОД ПЕРЕВІРКИ КОРЕКТНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТУ

**Анотація:** В основу розробленої процедури контролю коректності процесу розпізнавання повітряних об'єктів покладено метод еталонів, роль яких виконують введені обмеження коректності. При контролі перевіряються синтаксична й семантична коректність процесу розпізнавання. Метод відрізняється від відомих використанням поняття середнього ризику при перевірці окремих видів семантичної некоректності описів класів алфавітів. Сутність розробленого методу перевірки розрізнення описів класів алфавіту полягає в розрахунку значень середнього ризику при розпізнаванні кожної пари класів алфавіту і перевірки виконання введеного обмеження. Використання методу дозволяє на етапі налагодження формалізованих знань виявляти некоректності, що пов'язані з нерозрізненістю класів алфавіту та використовувати чисельне значення середнього ризику для виявлення інших видів семантичних неточностей. Сутністю розробленого методу перевірки структурної надлишковості описів класів алфавіту є розрахунок значень середнього ризику при розпізнаванні класу з використанням різних "фрагментів" його опису. Введені обмеження дозволяють виявляти нерозрізнені "фрагменти" описів класів. Видалення надлишкових описів дозволяє знизити час пошуку рішень про класи об'єктів. В основу розробленого методу виявлення ознакової надлишковості описів класів також покладено процедуру розрахунку значення середнього ризику, прийнятого в якості характеристики апіорної інформативності ознак. Метод дозволяє на етапі наповнення бази знань автоматизувати виявлення та усунення неінформативних ознак в описах класів, що знижує трудовитрати на перевірку надлишковості; на етапі безпосереднього вирішення задачі розпізнавання - знизити обчислювальні витрати шляхом ранжирування використовуваних ознак по їх апіорній інформативності та відповідної організації процесу пошуку рішення про класи розпізнається ПО.

**Ключові слова:** обробка даних, ознаки повітряних об'єктів, розпізнавання, неповнота даних, прийняття рішень.

- Тимочко А.И.** Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков  
**Тимочко А.А.** Фирма «Кредитех», Гамбург, Германия  
**Дубовик В.** Национальный университет обороны Украины им. Ивана Черняховского, Киев  
**Бердник П.Г.** Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

## МЕТОД ПРОВЕРКИ КОРРЕКТНОСТИ ПРОЦЕССА РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА

**Аннотация:** В основу разработанной процедуры контроля корректности процесса распознавания воздушных объектов положен метод эталонов, роль которых выполняют введенные ограничения корректности. При контроле проверяются синтаксическая и семантическая корректность процесса распознавания. Метод отличается от известных использованием понятия среднего риска при проверке отдельных видов семантической неточности описаний классов алфавитов. Сущность разработанного метода проверки различия описаний классов алфавита заключается в расчете значений среднего риска при распознавании каждой пары классов алфавита

и проверки выполнения введенных ограничений. Использование метода позволяет на этапе отладки формализованных знаний выявлять некорректности, связанные с неразличимостью классов алфавита и использовать численное значение среднего риска для выявления других видов семантических неточностей. Сущностью разработанного метода проверки структурной избыточности описаний классов алфавита является расчет значений среднего риска при распознавании класса с использованием различных "фрагментов" его описания. Введенное ограничение позволяет выявлять неразличимые "фрагменты" описаний классов. Удаление избыточных описаний позволяет снизить время поиска решений о классах объектов. В основу разработанного метода выявления признаковой избыточности описаний классов также возложена процедура расчета значения среднего риска, принятого в качестве характеристики априорной информативности признаков. Метод позволяет на этапе наполнения базы знаний автоматизировать выявление и устранение неинформативных признаков в описаниях классов, снижает трудозатраты на проверку избыточности; на этапе непосредственного решения задачи распознавания - снизить вычислительные затраты путем ранжирования используемых признаков по их априорной информативности и соответствующей организации процесса поиска решения о классах распознавания воздушных объектов.

**Ключевые слова:** обработка данных, признаки воздушных объектов, распознавания, неполнота данных, принятие решений.

**Тимошко О.** Kharkiv National University of the Air Force. Ivan Kozhedub, Kharkiv

**Timochko O.** Kreditech company, Hamburg, Germany

**Dubovik G.** National University of Defense of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv

**Berdnik P.** Kharkiv National University named after VM Karazina, Kharkiv

## METHOD OF VERIFICATION THE CORRECTNESS OF THE AIR OBJECT RECOGNITION PROCESS

**Abstract:** The basis of the developed procedure for verification the correctness of the process of recognition of airborne objects is the method of standards. The role of the standards is fulfilled by the introduced correctness constraints. During the control, the syntactic and semantic correctness of the recognition process are verified. The method differs from the known ones in the following. When verification certain types of semantic inaccuracy of descriptions of classes of alphabets, the concept of medium risk is used. The essence of the developed method for verification the differences in the descriptions of alphabet classes is as follows. The medium risk values are calculated when each pair of alphabet classes is recognized and the implementation of the restrictions introduced is verified. Using the method allows at the stage of debugging formalized knowledge to identify inaccuracies associated with the indistinguishability of alphabet classes and use the numerical value of the medium risk to identify other types of semantic inaccuracies. The essence of the developed method for verification the structural redundancy of alphabet class descriptions is as follows. The medium risk values are calculated during class recognition using various "fragments" of its description. The restriction introduced makes it possible to reveal indistinguishable "fragments" of class descriptions. Removing redundant descriptions reduces the time it takes to find solutions for classes of objects. The developed method for identifying the characteristic redundancy of class descriptions is also based on the procedure of calculating the medium risk value, adopted as a characteristic of the a priori information content of the signs. The method allows at the stage of filling the knowledge base to automate the identification and elimination of non-informative features in class descriptions, reduces the labor required to verify redundancy. At the stage of directly solving the recognition problem, the method allows to reduce computational costs by ranking the used features by their a priori information content and the corresponding organization of the search process for the decision on recognition classes of air objects.

**Keywords:** data processing, features of air objects, recognition, incomplete data, decision making.

## 1. Вступ

В якості основи для побудови системи розпізнавання повітряних об'єктів (ПО) в сучасних системах управління застосовуються системи підтримки прийняття рішень побудовані з використанням інтелектуальних методів обробки інформації. В роботі [1] показано, що в якості основного шляху досягнення високого рівня надійності програмних засобів інтелектуальних систем, слід розглядати налагодження формалізованих описів експертних знань. Основними операціями налагодження формалізованих описів є своєчасне виявлення, локалізація та усунення в них помилок.

Під коректністю програмних засобів у літературі [2, 3] розуміється відсутність в них помилок, тобто будь-яких відхилень від заздалегідь заданих еталонів, що описують необхідні властивості програмного забезпечення. Належний рівень надійності програмного забезпечення інтелектуальних систем досягається шляхом досягнення необхідної коректності формалізованих знань.

Отже, під коректністю процесу розпізнавання в загальному сенсі будемо розуміти коректність формалізованих описів класів алфавітів ознаками.

У запропонованому в роботі [4] семіотичному підході до класифікації помилок формалізованих знань, розрізняються синтаксичні, семантичні й прагматичні помилки.

Синтаксичні помилки полягають в порушенні правил побудови власне мовних конструкцій. Еталоном для виявлення синтаксичних помилок може служити формалізований опис правил побудови таких конструкцій.

Клас семантичних помилок включає всілякі порушення властивостей предметної області, яка описується засобами відповідної мови. Як еталон для виявлення таких помилок можуть бути використані описи властивостей предметної області. Для традиційних мов програмування високого рівня в якості еталонів використовуються обмеження на типи аргументів в арифметичних виразах. Створення мов представлення знань для систем штучного інтелекту вимагає використання формалізованого опису їх семантики як еталону для пошуку розглянутого класу помилок.

Прагматичні помилки полягають в недосягненні цілей споживача внаслідок частково неповного розуміння розробником змісту задачі, для вирішення якої призначений програмний засіб. Еталонами для виявлення прагматичних помилок можуть служити очікувані результати виконання контрольних прикладів (тестів).

Проявом прагматичних неточностей експертних знань при вирішенні задачі розпізнавання є низький рівень якості прийнятих рішень. Зокрема, відбувається зниження достовірності рішень про класи ПО. Причиною цього є неадекватність формалізованих з використанням розробленого математичного апарату експертних знань реальної поведінки об'єктів.

Проведення оцінки адекватності експертних знань реальним об'єктам утруднено через необхідність врахування значної кількості факторів та високу апріорну невизначеність щодо виду і параметрів їх законів розподілу. Передбачається, що при наповненні бази знань з метою вирішення задачі розпізнавання повинен бути використаний весь обсяг даних про ПО. У доповненні до цього, "відкритість" системи розпізнавання по відношенню до модифікованості знань в процесі її функціонування передбачає можливість оперативного корегування знань, відповідно до змін інформації про ПО.

Тому стає актуальне наукове завдання розробки методу автоматизації процедур перевірки коректності знань про процес розпізнавання повітряного об'єкту при роботі з нечіткими даними.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Формалізовані описи експертних знань відображають існуючий рівень інформованості про ПО, а прагматичні помилки усуваються в процесі модифікації знань.

Представленні експертні знання можна характеризувати наступними видами помилок:

синтаксичні, семантичні та прагматичні некоректностям при їх формалізованому описі.

Синтаксичні помилки при наповненні бази знань є наслідком взаємного невідповідності ідентифікаторів базових понять. Їх виявлення та усунення не становить труднощів і в достатній мірі відображені у відомій літературі [2-5]. Тому даний клас помилок в статті не розглядається.

Семантичні помилки, що виникають в ході формалізації експертних знань, і існуючі методи їх виявлення представлені в табл. 1.

Всі наведені помилки з синтаксичної точки зору коректні, тому вони віднесені до класу семантичних.

Методи виявлення контурів та виражених вершин однорідної функціональної мережі досить повно викладені в наступних джерелах літературі [6, 7, 8, 9] і в статті не розглядаються.

Таблиця 1

Семантичні помилки, що виникають в ході формалізації експертних знань та методи їх виявлення

Етап формалізації знань	Вид некоректності	Метод виявлення
Розробка структурно-логічного опису класів ознаками	- наявність контурів ФМ; - наявність "висячих" вершин ФМ; - наявність "тупикових" вершин ФМ; - наявність "ізованих" вершин ФМ.	виявлення контурів та виражених вершин при трансляції
Опис параметрів апріорних розподілів значень ознак	- неповнота використання простору ознак в описі класів; - структурна надмірність опису класу; - непомітність класів алфавіту; - надмірність використовуваних ознак в описі класів.	пошук помилок при трансляції не розроблений не розроблений не розроблений

Структурна надмірність описів класів полягає в використанні декількох кон'юнктиві наборів з близькими розподілами однойменних ознак. Даний вид помилок при вирішенні задачі розпізнавання до радикальних негативних наслідків не призводить, проте їх наявність збільшує часові витрати на прийняття рішення про клас ПО.

Нерозрізненість класів алфавіту проявляється в неможливості за складеним просторовим описом прийняти рішення про перевагу одного класу і, отже, призводить до нерозв'язності розробленого формально-логічного апарату. Причиною таких помилок є використання в описі різних класів близьких за змістом описів однойменних ознак. У разі її виявлення, приймається рішення про неможливість вирішення задачі розпізнавання.

Надмірність ознак в описі класу полягає в використанні неінформативних ознак, які в сукупності слабо впливають на підвищення якості прийнятих рішень про клас ПО, але при цьому збільшують час вирішення задачі розпізнавання.

Неповнота використання простору ознак полягає в наявності окремих з допустимої множини значень ознак, не врахованих в описі всіх класів алфавіту. Ситуацію, яка полягає в прояві спостережуваним ПО ознаки з неврахованим значенням, слід розглядати як подію, що приводить до неможливості в окремих випадках отримання рішення про клас об'єкта, що спостерігається. Введення подібних експертних знань призводить до неповноти розробленого формально-логічного апарату.

Виявлення значень ознак, які не враховані в апріорному описі всіх класів алфавіту, є тривіальним завданням, яке може бути вирішене на етапі перетворення експертних знань до виду, що використовується в ЕОМ, в процесі їх наповнення.

Таким чином, для вирішення завдання виявлення семантичних помилок формалізованих

знань необхідні додаткові дослідження, які пов'язані з розробкою:

- методу перевірки розрізнення класів алфавіту;
- методу виявлення структурної надлишковості описів класів;
- методу виявлення ознакової надмірності описів класів.

Сутність використаного в роботі підходу для вирішення розглянутих часткових задач аналогічний підходу, який викладений в роботі [10] та полягає в перевірці дотримання певних вимог, які грають роль еталонів при пошуку помилок. Ці еталони далі будемо називати обмеженнями коректності, невиконання яких свідчить про наявність помилок в формалізованому описі класів алфавіту.

Побудова систем розпізнавання повітряних об'єктів була розглянута у досить великій кількості праць [1, 2]. Однак всі ці підходи розглядають процес розпізнавання в рамках тієї інформації, яка циркулює в цих системах [2-8]. Розроблені методи та моделі досить успішно це завдання вирішують, але розгляд питань пов'язаних з необхідністю об'єднання різномірної інформації авторами або не розглядається, або враховується в обмеженому вигляді [6, 7]. Тому розгляд систем які оперують кількісними та якісними ознаками, а також в умовах їх неповноти та протилежності відображуваних характеристик є актуальним та потребує подальшого дослідження. Також в багатьох системах не можливо реалізувати систему пояснення отриманих результатів [3, 4, 9], що не припустимо для систем розпізнавання типу повітряних об'єктів, що також повинно бути враховано в розробленому методі.

**Постановка проблеми.** В даній роботі пропонується підхід до розробки методу автоматизації процедур перевірки коректності знань про процес розпізнавання повітряного об'єкту при роботі з нечіткими даними..

### 3. Мета дослідження

Метою дослідження є підвищення якості розпізнавання повітряних об'єктів для систем підтримки прийняття рішень в умовах різномірності, неповноти і надмірності даних про ознаки.

#### 4. 1. Оцінка розрізнення класів повітряних об'єктів

Під розрізненістю формалізованих описів двох класів ПО будемо розуміти розрізненість описів апріорних розподілів ознак, що використовувалися при розпізнаванні двох класів. Це дозволяє приймати рішення про клас ПО з деякою мірою достовірності.

Для перевірки коректності формалізованого опису класів алфавіту деталізуємо поняття їх розрізнення.

Два класи будемо вважати нерозрізненими, якщо середній ризик при їх розпізнаванні приймає максимальне з допустимого інтервалу значення. Відповідно, формалізований опис алфавіту будемо вважати коректним, якщо в ньому не існує двох нерозрізнених класів. Дана пропозиція може бути використана в якості обмеження коректності, невиконання якого свідчить про необхідність коригування формалізованого опису експертних знань. Розглянемо підходи до оцінки значення середнього ризику при розпізнаванні ПО.

При оцінці значення середнього ризику враховуються втрати, які пов'язані з вірними та помилковими рішеннями. Втрати при розпізнаванні двох класів в теорії прийняття рішень традиційно подаються у вигляді платіжної матриці:

$$C = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{vmatrix},$$

де:  $c_{ii}$  - втрати, пов'язані з правильними рішеннями, а  $c_{ij}$ ,  $i \neq j$  втрати, пов'язані з помилками розпізнавання.

Елементи матриці  $C$  виражають абсолютні, або відносні втрати при прийнятті рішень про класи з урахуванням помилок.

У задачах розпізнавання, які засновані на результатах теорії статистичних рішень,

використовується наступний вираз для оцінки значення середнього ризику при розпізнаванні об'єктів в алфавіті, що складається з двох класів [11]:

$$\bar{R}_{12} = p(K_1)c_{11}(I - Q_{12}) + p(K_1)c_{12}Q_{12} + p(K_2)c_{22}(I - Q_{21}) + p(K_2)c_{21}Q_{21},$$

де:  $p(K_i)$  - апіорна ймовірність появи об'єктів класу  $K_i$ ,  $Q_{ij}$  - ймовірність прийняття хибного рішення на користь класу  $K_i$  в той час як об'єкт належить до класу  $K_j$ .

За аналогією проведемо оцінку значення середнього ризику при розпізнаванні ПО з використанням апарату нечітких множин.

Нехай значення середнього ризику  $\bar{R}_{12}$  при розпізнаванні в алфавіті з двох класів  $K_1$  та  $K_2$  буде нормованим на інтервалі  $[0,1]$ . При цьому значення  $\bar{R}_{12} = 1$  буде означати максимальні втрати при багаторазовому розпізнаванні.

Оскільки для прийняття рішень про класи ПО використовуються розподіли можливостей класів алфавітів, середній ризик при розпізнаванні будемо оцінювати відповідно до виразу:

$$\bar{R}_{12} = \left( \frac{\pi^{anp}(K_1)c_{11}(I - Q_{12}) + \pi^{anp}(K_1)c_{12}Q_{12} + \pi^{anp}(K_2)c_{22}(I - Q_{21}) + \pi^{anp}(K_2)c_{21}Q_{21}}{2} \right),$$

де:  $\pi^{anp}(K_i)$  - апіорна можливість появи ПО  $i$ -го класу,  $Q_{ij}$  - можливість прийняття помилкового рішення на користь класу  $K_i$ , у той час, коли ПО належить до класу  $K_j$ , 2 - нормуючий коефіцієнт, введення якого обумовлено використанням мір можливостей замість мір ймовірності.

При нуль-одичинній функції втрат  $C_{ii} = 0$ ,  $C_{ij} = 1$  та апіорно рівноможливих класів алфавіту  $\pi^{anp}(K_1) = \pi^{anp}(K_2) = 1$  середній ризик при розпізнаванні ПО буде визначатися характеристиками помилок рішень, що приймаються:

$$\bar{R}_{12} = (Q_{12} + Q_{21}) / 2.$$

Відмінності в методах формалізації кількісних та якісних ознак обумовлюють відмінності в методах оцінки значення середнього ризику при розпізнаванні.

#### 4.2. Розробка методу оцінки значення середнього ризику при розпізнаванні об'єктів з використанням кількісних ознак

Нехай на вхід системи обробки даних надходить абсолютно достовірною інформацією про значення однієї ознаки об'єкта, що спостерігається у вигляді чіткої точкової оцінки. Нехай вихідний алфавіт складається з двох класів, опис яких вироблено з використанням реєстрованої ознаки. Опис двох класів алфавіту ( $K_1$  і  $K_2$ ) складено у вигляді розподілів можливостей значень кількісної ознаки  $X(\pi_1(x) \text{ та } \pi_2(x))$ , формалізованих у вигляді нечітких LR-інтервалів (рис.1).

Нехай в результаті спостереження ПО визначена чітка достовірною оцінка значення ознаки  $x$ , яка формалізована також у вигляді нечіткого LR-інтервалу з параметрами:  $\pi_{LR}(x) = \langle x, x, x, x \rangle$ .

За аналогією з виразами для розрахунку ймовірності помилок 1-го та 2-го роду в імовірнісних моделях розпізнавання [14], значення можливостей прийняття помилкових рішень при багаторазовому розпізнаванні можуть бути отримані в наступний спосіб.

Оскільки рішення про клас ПО приймаються за правилом максимальної апостеріорної можливості класу, то розглянемо таку пороговою оцінку значення ознаки  $x^{nop}$ , при якій міри можливості класів алфавіту, що розпізнаються, рівні (рис. 2).

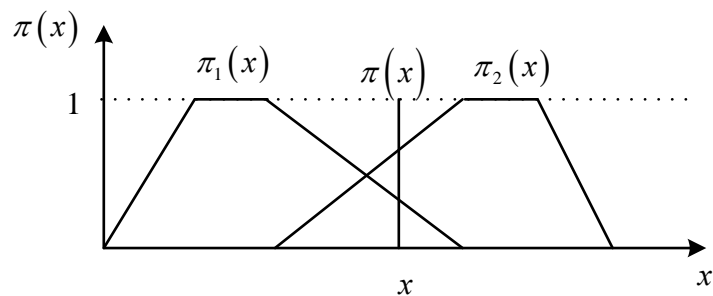


Рис. 1. Нечіткі LR-інтервали

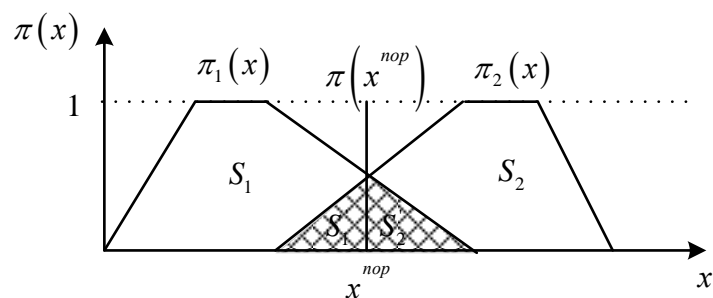


Рис. 2. Рівні можливості класів алфавіту, що розпізнаються

Розглянемо площі  $S'_1$  та  $S'_2$ , які обмежені з одного боку границями нечіткості LR-інтервалів описів класів, а з іншого - границями нечіткості опису порогової оцінки значення ознаки  $x^{nop}$ . Відношення площ  $S'_1 / S_1$  та  $S'_2 / S_2$  будуть характеризувати шукані значення:

$$Q_{12} = S'_1 / S_1,$$

$$Q_{21} = S'_2 / S_2.$$

Алгоритм розрахунку середнього ризику при цьому зводиться до розрахунку площ, які обмежені прямими на площині, й ефективно реалізується на ЕОМ.

Графічна ілюстрація залежності значення середнього ризику від параметрів апіорних законів розподілу значень ознак опису класів алфавіту наведена на рис.3. На рис.3б представлені апіорні розподіли значень кількісної ознаки  $X$  зі збільшеними коефіцієнтами нечіткості в порівнянні з розподілами, які зображені на рис.3а.

З рисунка 3 видно, що зі збільшенням коефіцієнтів нечіткості апіорних розподілів значень ознак збільшується ступінь перетину нечітких LR-інтервалів опису класів, що тягне за собою збільшення середнього ризику при розпізнаванні.

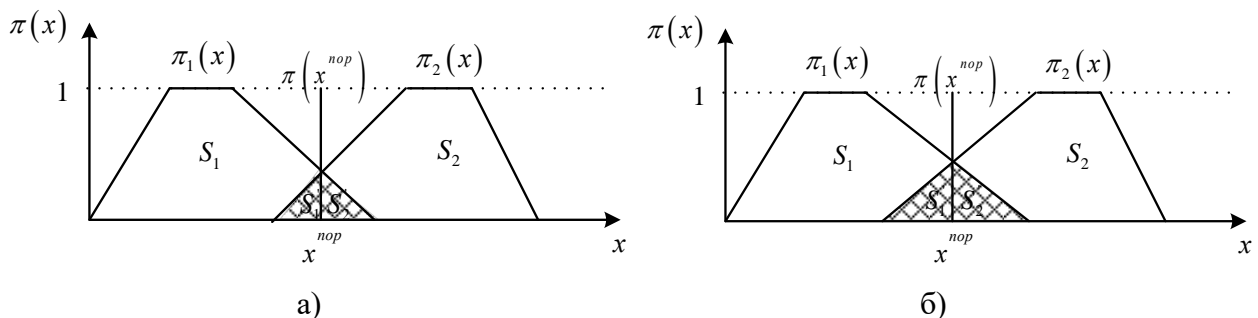


Рис. 3. Значення ознак опису класів алфавіту

На рис.4 та рис.5 приведена графічна ілюстрація визначення значень середнього ризику при розпізнаванні ПО з використанням кількісної ознаки за даними від ідеального (рис. 4а) й реального (рис. 4б) джерела інформації та від двох реальних джерел (рис. 5 а, б) з відмінними точнісними характеристиками.

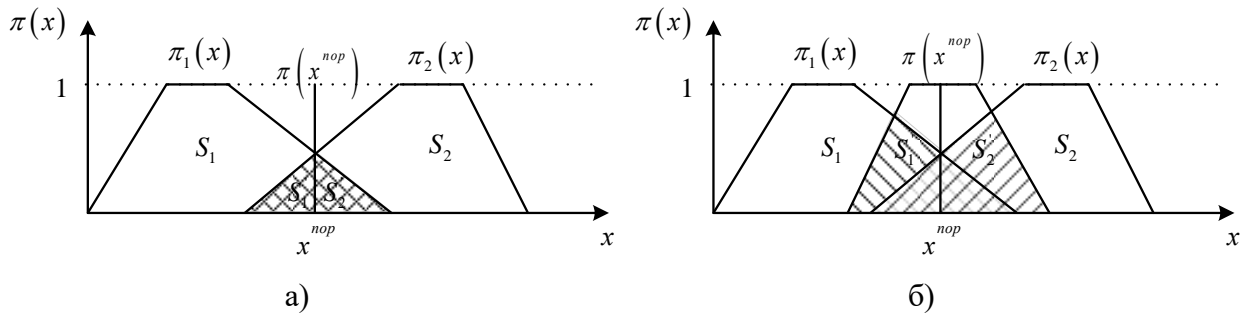


Рис. 4. Розподіли значень оцінки кількісних ознак

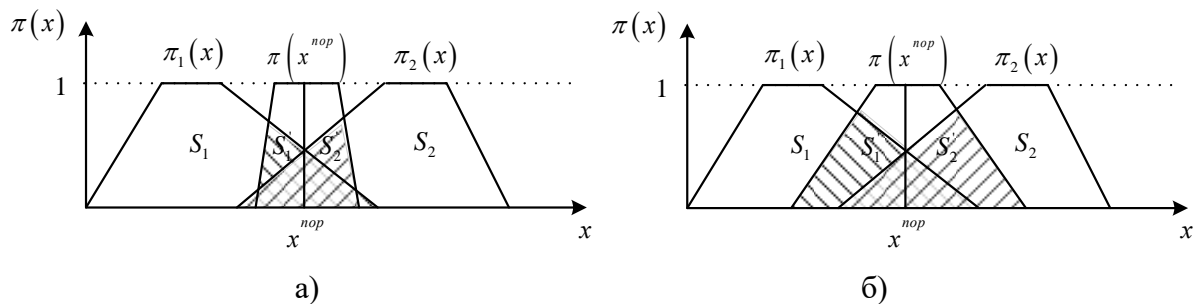


Рис. 5. Розподіли значень оцінки ознак від двох джерел

Порівняльний аналіз показує, що для незмінних апіорних розподілів ознак в описі класів величина середнього ризику збільшується з погіршенням точнісних характеристик джерел інформації.

**4.3. Розробка методу виявлення структурної надлишковості описів класів алфавіту**

Надлишковість подібного роду виникає внаслідок необхідності більш точного опису відмінностей в характері прояву окремих ознак об'єктами одного класу. Наприклад, для опису класу "Транспортний літак" ознакою "швидкість", необхідно врахувати, що в цей клас входять швидкісні літаки типу McDonnell Douglas MD-11 з максимальною швидкістю польоту, рівної 970 км/год та нешвидкісні літальні апарати типу Lockheed C-130H (Hercules) з максимальною швидкістю, рівною 540 км/год. Для цього в опис класу вводяться кілька ^-наборів ознак з відмінними розподілами значень ознаки "швидкість". Природно, внаслідок помилок експерта неможливо повністю виключити випадки введення ідентичних розподілів значень однойменних ознак у різних ^-наборах опису класу. З синтаксичної точки зору подібний опис буде коректним. З точки зору семантичної коректності подібний випадок повинен бути віднесений до помилок.

Висновок про структурну надлишковість опису класу, що аналізується, може бути отриманий шляхом попарного аналізу середнього ризику при його розпізнаванні з використанням різних ^-наборів.

Як обмеження структурної коректності опису *m*-го класу ознаками приймемо істинність виразу:

$$\forall i \forall j (i \neq j) \wedge \left( \left[ \sum_{\forall p \in P_{m_j}} \bar{R}_{m_i, m_j}^{X_p} \right] / P < 1 \right). \tag{1}$$

Рішення про необхідність усунення структурної надлишковості опису класу має бути



безумовно прийнято при наявності хоча б двох невивірених  $\wedge$ -наборів. Зміна надлишкових знань повинно проводитися за участю експертів.

#### 4.4. Розробка методу виявлення ознакової надлишковості описів класів алфавіту

Для виявлення надлишковості ознак в описі класів алфавіту необхідно ввести поняття їх інформативності. Відповідно до теорії інформації, поточне значення ознаки являє собою певне повідомлення, яке описує деяку фізичну систему [15-17] в разі апріорної невідомості її стану. В іншому випадку повідомлення не мало б сенсу для розкриття стану системи. Очевидно, ознака буде тим набагато змістовніша, інформативніша, ніж більше була невизначеність системи до та чим менше вона стала після отримання повідомлення про поточне значення ознаки.

Розглянемо алфавіт з двох класів, описи яких представлені у вигляді апріорних розподілів ознаки  $X$ . Розглянута система має два стани:

S1: об'єкт, що спостерігається, належить класу  $K_1$ ;

S2: об'єкт, що спостерігається, належить класу  $K_2$ .

Будемо вважати, що обидва стани розглянутої системи апріорно рівноможливі ( $\pi^{anp}(K_1) = \pi^{anp}(K_2) = 1$ ). Якщо в якості міри невизначеності стану системи прийняти  $U$ -нечіткість [14, 17]:

$$U = \sum_{j=1}^J \frac{1}{j} (\pi(K_j) - \pi(K_{j+1})),$$

де:  $J$  - кількість класів в алфавіті,  $\pi(K_{j+1}) = 0$ , то невизначеність стану системи до спостереження ПО дорівнюватиме  $U^{anp} = 0,5$ .

При надходженні оцінки значення ознаки  $x$  від джерела інформації, що виявив ПО, визначаються значення ступеня істинності кожного з класів алфавіту. Після нормування отримаємо деякий розподіл можливостей класів системи, невизначеність стану якої буде не більше вихідної:

$$U^{mek}(x) = \sum_{j=1}^J \frac{1}{j} (\pi(K_j | x) - \pi(K_{j+1} | x)) \leq U^{anp}.$$

При багаторазовому розпізнаванні доцільно говорити про середнє значення  $U$ -нечіткості:

$$\bar{U}^x = \frac{\sum_{k=1}^K U^{mek}(x_k)}{K},$$

де:  $K$  - кількість значень, які може приймати ознака  $X$ .

Порівняємо два алфавіту  $A_1$  і  $A_2$ , що складаються з одностипних класів з апріорними розподілами, які розрізняються, ознаки  $X$ .

Будемо вважати, що після проведення розпізнавання об'єкта, що спостерігається невизначеність стану системи  $A_j$ , внаслідок нечіткої класифікації, повністю не знімається. Отже, кількість інформації  $I^x$ , яка отримана в результаті розпізнавання з використанням ознаки  $X$  дорівнює зменшенню  $U$ -нечіткості:

$$I^x = U^{anp} - \bar{U}^x.$$

Таким чином, кількість інформації  $I^x$  можна використовувати в якості показника інформативності ознаки  $X$  (міри зняття невизначеності стану системи після реєстрації даної ознаки та розпізнавання класу об'єкта).

Оскільки ознаки в загальному випадку можуть приймати нескінченну кількість значень,

оцінку їх інформативності пропонується проводити побічно, використовуючи середній ризик при розпізнаванні ПО для кількісних та якісних ознак відповідно. Відповідно до цього будемо вважати ознаку в описі системи з двох класів тим інформативнішою, ніж менше значення середнього ризику при прийнятті рішення про клас ПО в результаті розпізнавання:

$$I_{12}^X = 1 - \bar{R}_{12}^X.$$

У разі довільно складеного опису класів  $K_1$  та  $K_2$  інформативність ознаки  $X$  буде визначатися як середнє арифметичне:

$$I_{12}^X = \left[ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (1 - \bar{R}_{1,2_j}^X) \right] / IJ.$$

Для алфавіту, що складається з  $l$ -класів, інформативність ознаки  $X$  буде характеризуватися симетричною матрицею розмірності  $l \times l$   $D_{al}^X$  з нульовими елементами головної діагоналі:

$$D_{al}^X = \begin{pmatrix} 0 & I_{12}^X & \dots & I_{1l}^X \\ & & \dots & I_{2l}^X \\ & & & \dots \\ & & & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

Значення інформативності ознаки в описі всіх класів алфавіту будемо визначати відповідно до виразу:

$$I^X = \frac{2 \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{j=i+1}^l I_{ij}^X}{l^2 - 1}.$$

Як обмеження коректності по відношенню до інформативності використовуваних в описі класів алфавіту ознак ПО прийемо рівне нулю значення їх інформативності:

$$I^X = 0.$$

У разі виявлення неінформативних ознак приймається рішення про некоректність опису класів алфавіту. Коригування опису повинно здійснюватися за участю експерта або автоматично шляхом виключення неінформативних ознак. Після коригування модифікований опис має бути повторно перевірено на розрізнення класів.

Розроблений метод дозволяє на етапі поповнення знань виявити ознаки, використання яких в формалізованому описі класів алфавіту є надмірними та викликає непродуктивне використання машинного часу при пошуку рішення.

#### 4.5 Метод перевірки коректності процесу розпізнавання повітряних об'єктів

Виходячи з прийнятих підходів до перевірки коректності процесу розпізнавання й наведених результатів можна запропонувати наступну послідовність основних етапів методу, що розробляється.

1. На етапі трансляції знань здійснюється перевірка їх синтаксичної коректності та семантичної коректності структурно-логічного опису класів ознаками.

2. З використанням отриманих результатів проводиться перевірка структурної надлишковості формалізованих описів.

3. Здійснюється перевірка розрізнення класів алфавіту, проводиться розрахунок інформативності ознак і перевірка їх надлишковості.

4. У разі невиконання одного з обмежень коректності необхідне коригування формалізованих описів. Коригування проводиться за рішенням експерта шляхом виключення

ознаки з мінімальним значенням інформативності, зміни апіорних розподілів ознак описів класів або зміни складу вихідних алфавітів і складових їх класів з подальшим виконанням пунктів 3, 4 даного методу. При неможливості коригування приймається рішення про неможливість коректного розпізнавання ПО.

Таким чином, в основу розробленої методики покладено метод еталонів, роль яких виконують обмеження коректності. Виявлені на окремих етапах перевірки некоректності усуваються із залученням експертів.

Це показує, що при наявності протиріч між даними від різних джерел, необхідно шукати інші варіанти їх об'єднання [5-7]. Одним з таких варіантів, який широко застосовується на практиці, є прийняття в якості результуючих даних від найбільш достовірного джерела [1].

Досліджувалася залежність результатів розпізнавання по об'єднаним розподілам ймовірностей від порогового значення їх ступеня неузгодженості  $m_o^{nop}$ . В результаті досліджень побудовано сімейство залежностей ймовірності вірного розпізнавання від значення  $m_o^{nop} : p^{npas}(m_o^{nop})$ , що представлено на рис.6:

- |  |   |
|--|---|
| 1. $\gamma_1 = 0,9 \quad \gamma_2 = 0,9$ | 6. $\gamma_1 = 0,8 \quad \gamma_2 = 0,7$  |
| 2. $\gamma_1 = 0,9 \quad \gamma_2 = 0,8$ | 7. $\gamma_1 = 0,8 \quad \gamma_2 = 0,6$  |
| 3. $\gamma_1 = 0,9 \quad \gamma_2 = 0,7$ | 8. $\gamma_1 = 0,7 \quad \gamma_2 = 0,7$  |
| 4. $\gamma_1 = 0,9 \quad \gamma_2 = 0,6$ | 9. $\gamma_1 = 0,7 \quad \gamma_2 = 0,6$  |
| 5. $\gamma_1 = 0,8 \quad \gamma_2 = 0,8$ | 10. $\gamma_1 = 0,6 \quad \gamma_2 = 0,6$ |

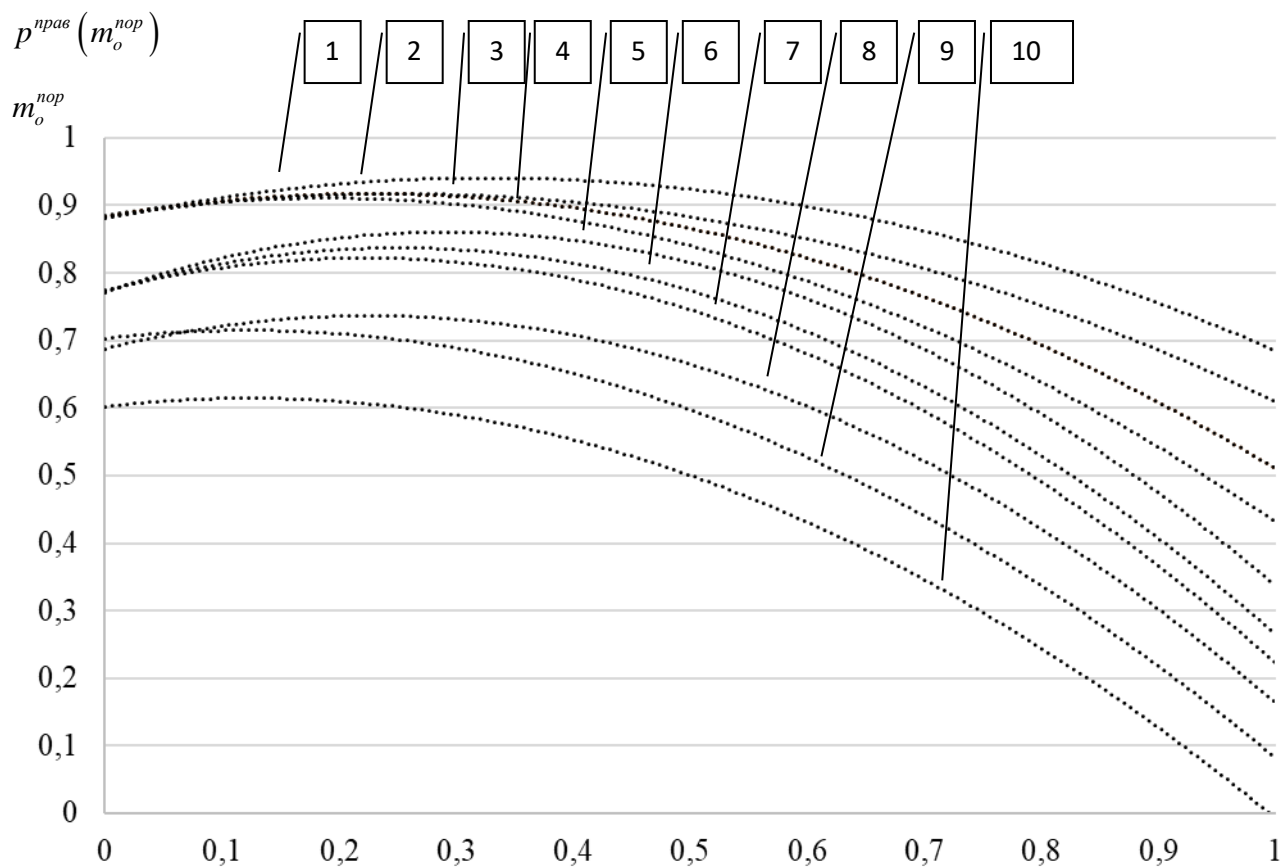


Рис. 6. Оцінка ймовірності вірного розпізнавання

Збільшення ймовірності вірного розпізнавання при  $m_o < m_o^{nop}$  відбувається внаслідок

прийняття рішень на основі досить інформації від двох незалежних джерел. Розпізнавання ПО з використанням значно неузгодженої об'єднаної інформації призводить до збільшення невизначеності об'єднаних розподілів і, як наслідок, до зниження вірогідності прийнятих рішень.

З використанням отриманих залежностей побудовано сімейство кривих (рис. 7), що дозволяють визначати граничне значення ступеня неузгодженості за даними про достовірність джерел інформації.

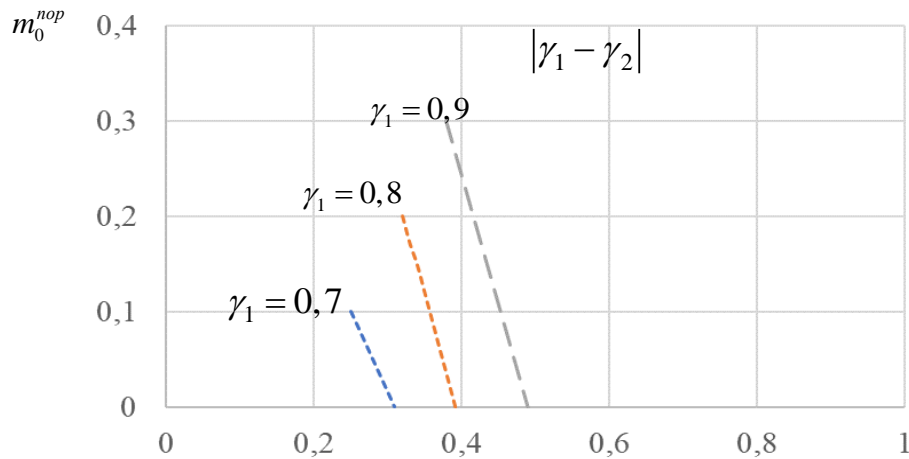


Рис. 7. Значення ступеня неузгодженості даних

## 5. Висновки

В основу розробленої методики контролю коректності процесу розпізнавання повітряних об'єктів покладено метод еталонів, роль яких виконують введені обмеження коректності. При контролі перевіряються синтаксична й семантична коректність процесу розпізнавання.

Методика відрізняється від відомих використанням поняття середнього ризику при перевірці окремих видів семантичної некоректності описів класів алфавітів.

Використання даної методики при наповненні й коригуванні експертних знань дозволяє знизити трудові і часові витрати на розробку та супровід спеціального математичного забезпечення розв'язання задачі розпізнавання.

Сутність розробленого методу перевірки розрізнення описів класів алфавіту полягає в розрахунку значень середнього ризику при розпізнаванні кожної пари класів алфавіту і перевірки виконання введеного обмеження. Метод відрізняється від відомих розробленими способами оцінки значення середнього ризику при розпізнаванні за кількісними, якісними ознаками і за сукупністю різномірних ознак.

Використання методу дозволяє на етапі налагодження формалізованих знань виявляти некоректності, що пов'язані з нерозрізненістю класів алфавіту та використовувати чисельне значення середнього ризику для виявлення інших видів семантичних неточностей. Сутністю розробленого методу перевірки структурної надлишковості описів класів алфавіту є розрахунок значень середнього ризику при розпізнаванні класу з використанням різних "фрагментів" його опису. Введене обмеження дозволяє виявляти нерозрізнені "фрагменти" описів класів. Видалення надлишкових описів дозволяє знизити час пошуку рішень про класи ПО. В основу розробленого методу виявлення ознакової надлишковості описів класів також покладена процедура розрахунку значення середнього ризику, прийнятого в якості характеристики апріорної інформативності ознак.

Метод дозволяє на етапі наповнення бази знань автоматизувати виявлення та усунення неінформативних ознак в описах класів, що знижує трудовитрати на перевірку надлишковості; на етапі безпосереднього вирішення задачі розпізнавання - знизити обчислювальні витрати

шляхом ранжирування використовуваних ознак по їх апріорній інформативності та відповідної організації процесу пошуку рішення про класи розпізнається ПО.

### Список використаної літератури

1. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного опознавания. Справочник / А.С. Маляренко. – Харьков: ХУВС, 2007. – 78 с. 3.
2. Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 12 Category 21 ADS-B Target Reports, EUROCONTROL, 2015.
3. George F. L. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem-Solving. 4 ed. / F. L. George. – Williams, 2005. — 864 p.
4. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхьяева. – М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 320 с.
5. Флоров И.Б. Информационные технологии в радиотехнических системах / И.Б. Флоров. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 846 с.
6. Системно-концептуальні положення й організаційно-методичні основи обґрунтування, вибору і реалізації обрису перспективної системи озброєння протиповітряної оборони держави та її збройних сил / О.В. Турінський, Б.О. Демідов, Д.А. Гриб, О.О. Хмелевська // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 2(58). – С. 55-69. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.08>.
7. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1992. – 416 с.
8. Верба В.С. Многопозиционные радиолокационные системы наведения. Возможности и ограничения / В.С. Верба, В.И. Меркулов. – М.: Радиотехника, 2013. – С. 94-99.
9. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М.: Высш. Шк, 2004. – 261 с.
10. Гафаров Е.Р. Графический метод решения задач комбинаторной оптимизации / Е.Р. Гафаров // Автоматика и Телемеханика. – 2016. – № 12. – С. 26–36.
11. Журавлев Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю. И. Журавлев // Проблемы кибернетики. – 2005. – Вып. 33. – С. 5–68.
12. Dempster A. The Dempster-Shafer calculus for statisticians, IJAR, Vol. 48, 2008, pp. 365-377.
13. Dezert J. On the behavior of Dempster’s rule of combination, School on Belief Functions Theory and Applications / J. Dezert, A. Tchamova // Autrans, France, 4-8 April 2011 ([http://hal. Archives-ouvertes. Fr/hal-00577983/](http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00577983/)).
14. Dezert J. On the mathematical theory of evidence and Dempster’s rule of combination / J. Dezert, A. Tchamova, F. Dambreville // May 2011 ([http://hal. Archives-ouvertes. Fr/hal-00591633/fr/](http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00591633/fr/)).
15. Метод визначення напрямків удару засобів повітряного нападу на оперативному напрямку / М.А. Павленко, В.К. Медведєв, П.Г. Берднік, Р.В. Сафронов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 3(24). – С. 24-27.
16. Використання кліткового автомату у методі вибору варіанту маршруту польоту ударних літаків щодо ураження наземних цілей / Є.С. Воробйов, М.А. Павленко, Є.Ю. Хлебніков, М.Г. Гладишев // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 1(53). – С. 84-90. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.12>.
17. Павленко М. А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени / М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – 2004. – № 9(37). – С. 124-133.

### References

1. Malyarenko, A.S. (2007), “Systemi vtorychnoi radyolokatsyy dlia upravlenyia vozdushnim

dvyzhenyem y hosudarstvennoho opoznavaniya” [Secondary Radar Systems for Air Traffic Control and State Recognition], HUVS, Kharkiv, 78 p. 3.

2. (2015), Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 12 Category 21 ADS-B Target Reports, EUROCONTROL.

3. George, F. L. (2005), Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem-Solving. 4 ed., Williams, 864 p.

4. Yakh'yayeva, G.E. (2011), “Nechetkie mnozhestva I neironnye seti” [Fuzzy sets and neural networks], Internet-universitet informatsionnykh tekhnologii, Binom. Laboratoriya znaniy, Moscow, 320 p.

5. Florov, I.B. (2011), “Informacionnye tekhnologii v radiotekhnicheskikh sistemah” [Information technology in radio engineering systems], Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 846 p.

6. Turins'kij, O.V., Demidov, B.O., Grib, D.A. and Khmelevs'ka, O.O. (2019), “Sistemno-kontseptual'ni polozhennya j organizacijno-metodichni osnovi obruntuvannya, viboru i realizacii obrisu perspektivnoi sistemi ozbroennya protipovitryanoyi oboroni derzhavi ta yiyi zbrojnih sil” [System-conceptual provisions and organizational and methodological bases for substantiation, selection and implementation of the outline of a promising air defense system of the state and its armed forces], Systems of Arms and Military Equipment, No. 2(58), pp. 55-69. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.08>.

7. Chernyak, V.S. (1992), “Mnogopozicionnaya radiolokaciya” [Multipurpose radar], Radio i svyaz', Moscow, 416 p.

8. Verba, V.S. and Merkulov, V.I. (2013), “Mnogopozicionnye radiolokacionnye sistemy navedeniya. Vozmozhnosti i ogranicheniya” [Multipoint radar guidance systems. Opportunities and limitations], Radiotekhnika, Moscow, pp. 94-99.

9. Gorelik, A. L., Skripkin, V. A. (2004), “Metodyi raspoznavaniya” [Recognition methods], M.: Vyssh. Shk, 261 p.

10. Gafarov, E.R. (2016), “Graficheskii metod resheniya zadach kombinatornoj optimizatsii” [Graphic method for solving combinatorial optimization problems], *Automation and Telemechanics*, No. 12, pp. 26–36.

11. Zhuravlev, Yu. I. (2005), “Ob algebraicheskom podhode k resheniyu zadach raspoznavaniya ili klassifikatsii” [On the algebraic approach to solving recognition or classification problems], *Problemy kibernetiki*, Vyip. 33, pp. 5–68.

12. Dempster, A. (2008), The Dempster-Shafer calculus for statisticians, *IJAR*, Vol. 48, pp. 365-377.

13. Dezert, J., Tchamova, A. (2011), On the behavior of Dempster's rule of combination, School on Belief Functions Theory and Applications, Autrans, France, 4-8 April 2011 (<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00577983/>).

14. Dezert, J., Tchamova, A., Dambreville, F. (2011), On the mathematical theory of evidence and Dempster's rule of combination (<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00591633/fr/>).

15. Metod vyznachennya napryamkiv udaru zasobiv povitryanogo napadu na operaty`vnomu napryamku / M.A. Pavlenko, V.K. Medvedyev, P.G. Berdnik, R.V. Safronov // Nauka i tekhnika Povitryany`x Sy`l Zbrojny`x Sy`l Ukrayiny`. – 2016. – # 3(24). – S. 24-27.

16. Vy`kory`stannya klitkovogo avtomatu u metodi vy`boru variantu marshrutu pol`otu udarny`x litaktiv shhodo urazhennya nazemny`x cilej / Ye.S. Vorobjov, M.A. Pavlenko, Ye.Yu. Xlyebnikov, M.G. Gladyshev // Sy`stemy` ozbroynennya i vijs`kova tekhnika. – 2018. – # 1(53). – S. 84-90. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.12>.

17. Pavlenko M. A. Razrabotka protseduryi mnogoetapnoy formalizatsii znaniy dlya ekspertnyih sistem realnogo vremeni / M.A. Pavlenko // Sistemi obrobki Informatsiyi. – 2004. – # 9(37). – S. 124-133.