

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧ ВИЯВЛЕННЯ СИТУАЦІЙ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІ- ШЕНЬ

С.А. Олізаренко, М.І. Володін, Е.Ю. Першина  
(Об'єднаний науково-дослідний інститут ЗС України, Харків)

*Розроблена методика формалізації завдань виявлення нештатних ситуацій у повітряному просторі на основі однорідної функціональної мережі з використанням теорії нечітких множин.*

*нештатні ситуації, повітряний простір, однорідна функціональна мережа, теорія нечітких множин*

**Постановка проблеми.** Одним з напрямків підвищення ефективності управління черговими силами та засобами Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗСУ) у ході контролю повітряного простору є використання на автоматизованих пунктах управління ПС ЗСУ системи підтримки прийняття рішень (СППР).

СППР, відповідно до [1], є інтелектуальною системою, яка надає посадовим особам пунктів управління можливості з вирішення наступних задач, які відносяться до класу задач прийняття рішень: виявлення та аналіз нештатних ситуацій, що виникають у ході контролю повітряного простору; вироблення варіантів рішень по нештатним ситуаціям, що не задовольняють вимогам правил використання повітряного простору; постановка завдань черговим силам та засобам ПС ЗСУ згідно вироблених варіантів рішень.

Задачі виявлення нештатних ситуацій у ході контролю повітряного простору традиційно вважаються найбільш складними з точки зору формалізації і подальшої автоматизації процесів їх вирішення [2]. При цьому треба зазначити, що, по-перше, вирішення задач виявлення нештатних ситуацій складається з вирішення відповідних підзадач (наприклад, задач розпізнавання повітряного об'єкту), по-друге, задачі виявлення нештатних ситуацій відносяться до класу задач прийняття рішень, які вирішуються з використанням СППР контролюючого типу [3].

Аналіз існуючих підходів до формалізації задач виявлення нештатних ситуацій, проведений в [3 – 5], свідчить про те, що жоден з них не може повною мірою забезпечити необхідний рівень представлення знань про дані процеси. Таким чином, існує необхідність в розробці єдиного підходу до

формалізації відповідних задач прийняття рішень з використанням СППР контролюючого типу.

**Аналіз літератури.** На теперішній час існує достатня кількість публікацій, в яких розглядаються питання розробки апарату формалізації як безпосередньо задач виявлення нештатних ситуацій у повітряному просторі, так і їх складових підзадач. Так, наприклад, в [2] розглянуті питання визначення важливості нештатних ситуацій повітряної обстановки при проектуванні СППР, в [5] розглянуті питання розпізнавання класів повітряних об'єктів на пунктах управління протиповітряної оборони, в [6] розглянуто підходи до означення початкових умов при оцінці повітряної обстановки. В той же час, публікації, які були б присвячені визначенню єдиних підходів до формалізації задач виявлення нештатних ситуацій у повітряному просторі з визначенням єдиних принципів виявлення ситуацій, їх формалізму та відповідного підходу до виведення нових знань відсутні.

**Мета статті.** Метою статті є розробка методики формалізації задач прийняття рішень з використанням СППР контролюючого типу, яка забезпечує можливість формалізації знань про виявлення нештатних ситуацій у повітряному просторі в рамках єдиного формалізму та організації на їх основі логічного виведення.

**Основна частина.** В загальному випадку сутність функціонування СППР контролюючого типу зводиться до порівняння поточних значень властивостей спостережуваного об'єкту з еталонними і при відхиленні значень від еталона (наприклад, при виникненні нештатної ситуації) визначенню класу відхилення з подальшою видачею повідомлення посадовим особам органів управління.

В статті процес функціонування СППР контролюючого типу пропонується звести до рішення задачі розпізнавання в його розширеному розумінні, тобто за рахунок віднесення об'єктів, що розпізнаються (в даному випадку нештатних ситуацій у повітряному просторі), до деякого класу відповідного алфавіту, сформованого на етапі концептуалізації в ході розробки СППР [7].

Під алфавітом класів  $A_l = \{a_1^l, a_2^l, \dots, a_n^l\}$ , де  $l=1, \dots, L$  – номер алфавіту,  $L$  – кількість можливих алфавітів при описі повітряної обстановки,  $n$  – кількість класів в алфавіті; розуміється підмножина класів, що описує той або інший об'єкт в процесі контролю повітряного простору на пунктах управління ПС ЗСУ з використанням СППР контролюючого типу.

Для прикладу розглянемо два наступні алфавіти класів:

алфавіт нештатних ситуацій у повітряному просторі –  $A_1 = \{a_1^1, \dots, a_n^1\}$ ,

де, наприклад,  $a_1^1$  = “виявлення масованого застосування засобів повітряного нападу у контрольованій зоні поблизу державного кордону України”,

$a_2^1 =$  “виявлення порушення кордону України повітряним судном”, ...,  $a_n^1 =$  “виявлення порушень порядку використання повітряного простору”;

алфавіт типів повітряних об’єктів –  $A_2 = \{a_1^2, \dots, a_n^2\}$ , де, наприклад,  $a_1^2 =$  “винищувач”,  $a_2^2 =$  “бомбардувальник”,  $a_3^2 =$  “постановник активних завод”, ...,  $a_n^2 =$  “крилата ракета”.

Кожний клас алфавіту повинен характеризуватися яким-небудь набором властивостей або ознак. Враховуючи особливості процесу контролю повітряного простору на пунктах управління ПС ЗСУ, формалізований опис класів може бути побудований з використанням ознак об’єктів, що поступають від різних джерел інформації. При цьому, розглянемо поточні значення ознак, які безпосередньо поступають в конкретний момент часу від зовнішніх джерел інформації, і еталонні значення ознак, визначені експертами на етапі концептуалізації конкретної задачі прийняття рішень з виявлення нештатної ситуації [6].

Представимо множину поточних значень ознак, як  $\{\text{Pr}_j^T\}$ , де  $j = \overline{1, J}$  – номер поточного значення ознаки,  $J$  – кількість поточних значень ознак, що використовуються для опису даного об’єкту. Тоді множину еталонних значень ознак, сформовану експертами на етапі концептуалізації задачі прийняття рішень контролюючого типу, позначимо як  $\{\text{Pr}_j^E\}$ .

Вся сукупність ознак традиційно ділиться на кількісні та якісні ознаки.

Під кількісними ознаками розуміють ознаки, для яких можливо введення метрики на множині допустимих значень, що дозволяє дати кількісну оцінку тому або іншому значенню ознаки, а також проводити кількісне порівняння різних значень ознак між собою. До кількісних ознак відносяться характеристики, які можна виразити дійсними числами, наприклад, просторові і динамічні характеристики повітряних об’єктів, кількісний склад повітряної цілі та ін.

Під якісними ознаками розуміються ознаки, що визначають семантичний опис властивостей об’єктів в даній проблемній області. До якісних ознак відносяться ознаки, що описують тип, форму, зміст та ін., наприклад, тип повітряного об’єкту “винищувач”, стан РЛС „функціонує”.

По виду невизначеності ознакова інформація може бути класифікована наступним чином [8]: 1) інформація із стохастичною невизначеністю; 2) інформація з нестохастичною невизначеністю.

Наявність стохастичної невизначеності ознакової інформації обумовлюється відносно невизначеності інформації про об’єкти в повітряному просторі, що пов’язано з прагненням, наприклад, повітряного об’єкту-порушника приховати задум своїх дій, з використанням повітряними об’єктами-

порушниками різного виду завод, з неточністю вимірювань параметрів повітряних об'єктів, з поганою якістю каналів зв'язку і з іншими особливостями.

Нестохастична невизначеність зв'язана з використанням природної мови (в даному випадку – професійної мови посадових осіб органів управління ПС ЗСУ) для опису задач прийняття рішень. Ця невизначеність обумовлюється необхідністю оперувати кінцевим числом слів і обмеженим числом структур фраз для опису множини різноманітних ситуацій, що виникають в процесі прийняття рішень з контролю повітряного простору. Тобто, нестохастична невизначеність породжується, з одного боку, множиною значень слів (понять і відносин) мови, а з другого боку, неоднозначністю значення фраз.

Наявність різних видів невизначеності ознакової інформації зумовлює необхідність використання різних підходів для її формалізованого опису. Для формального представлення знань про закономірність прояву значень ознакової інформації щодо контролю повітряного простору пропонується використовувати метод формалізації, який заснований на використанні положень нечітких мір і множин [4, 8]. В основі формального представлення знань про структуру задач прийняття рішень на пунктах управління ПС ЗСУ з використанням СППР контролюючого типу пропонується використовувати однорідну функціональну мережу (ОФМ) [6, 9, 10].

В загальному вигляді ОФМ задач прийняття рішень з виявлення ситуацій у повітряному просторі може бути представлена набором таких множин:

$$S_{ofs} = \langle V, R^p, \Gamma \rangle$$

де  $V = \{v_1, \dots, v_m\}$  – множина вершин ОФМ;  $R^p$  – відношення підпорядкування між вершинами ОФМ;  $\Gamma$  – відображення множини вершин ОФМ на множину відношень.

Множина вершин ОФМ формально може бути представлена у вигляді:

$$V = \left\langle \{N_j\}, \{Z_j\}, \{K_\gamma\}, \{D_\beta\}, a_m^* \right\rangle,$$

де  $\{N_j\}_{j=1..J} = \left\{ \left\{ \text{Пр}_j^3 \right\}, \left\{ \text{Пр}_j^T \right\} \right\}$  – множина вершин формалізованого опису поточних  $\left\{ \text{Пр}_j^T \right\}$  і еталонних  $\left\{ \text{Пр}_j^3 \right\}$  значень ознак;  $\{Z_j\}_{j=1..J} = \left\{ f_j \left( \text{Пр}_j^3, \text{Пр}_j^T \right) \right\}$  – множина вершин визначення ступеня близькості еталонного і поточного значень ознак (вершин порівняння);  $f_j \left( \text{Пр}_j^3, \text{Пр}_j^T \right)$  – функція визначення ступеня близькості еталонного і поточного розподілів значень однойменних

ознак;  $\{K_\gamma\}_{\gamma=1..G} = \bigcap_{\gamma=1}^G f_\gamma \left( \text{Пр}_j^3, \text{Пр}_j^T \right)$ ,  $\{D_\beta\}_{\beta=1..B} = \bigcup_{\beta=1}^B f_\beta \left( \text{Пр}_j^3, \text{Пр}_j^T \right)$  – відповід-

но множина кон'юнктивних і диз'юнктивних вершин формування логіки опису класів об'єктів за наслідками порівнянь еталонного і поточного розподілів значень ознак (логічних вершин);  $a_m^*$  – вершина визначення класу

об'єкту, яка реалізує вирішальне правило визначення класу об'єкту, за яким проводиться спостереження.

Кожна вершина ОФМ  $v \in V$ , де  $V = \langle \{H_j\}, \{Z_j\}, \{K_\gamma\}, \{D_\beta\}, a^* \rangle$ , формально представляється кортежем наступного вигляду:

$$v_s = \langle T_s, N_s, P_s, \Theta_s \rangle,$$

де  $s$  – порядковий номер вершини на мережі;  $T_s$  – тип вершини ОФМ;  $N_s$  – множина початкових умов (вхідних вершин), що визначають досягнення даної вершини ОФМ;  $P_s$  – процедура означення вершини ОФМ;  $\Theta_s$  – результат означення вершини, що представляє собою числове або логічне значення.

Наприклад:  $v_i = \langle 10, Z_h - \text{вершина порівняння}; \{Pr_j^Z, Pr_j^T\}; P_h - \text{процедура визначення ступеня близькості еталонного і поточного значень ознак}; \text{"False"} \rangle$ .

Логічна послідовність досягнення вершин ОФМ з множини  $V$  визначається відносинами підпорядкування  $R_p$ . Відносини підпорядкування визначають необхідні і достатні умови досягнення вершин без витрати часу і ресурсів (засобів цілеспрямованої дії на зовнішнє середовище).

Результат відповідності вершин ОФМ множині відношень між вершинами формалізується у вигляді бієктивного відображення:

$$\Gamma = \{r_1\} \rightarrow \{(v_i, v_j)\},$$

де  $\{r_1\}$  – множина відношень між вершинами ОФМ, які є відношеннями підпорядкування;  $\{(v_i, v_j)\}$  – множина пар зв'язаних вершин ОФМ.

Таким чином, формалізація задач прийняття рішень на пунктах управління ПС ЗСУ з використанням СППР контролюючого типу на основі ОФМ формально може бути представлена у вигляді:

$$S_{ofs} = \langle \langle \{H_j\}, \{Z_j\}, \{K_\gamma\}, \{D_\beta\}, a_n^* \rangle, R^P, \Gamma \rangle.$$

Виходячи з особливостей рішення задач в процесі контролю повітряного простору, коли пошук рішення йде від початкових посилань і на кожному кроці повинні бути визначені проміжні результати рішення задач, пропонується використовувати метод прямого логічного виведення в ширину (в припущенні, що ресурси джерел інформації дозволяють добути необхідні дані, наприклад, для розпізнавання нештатної ситуації значення первинних ознак за час, що не перевищує допустимий). При цьому, виходячи з пропозицій про використання положень теорії нечітких мір і множин для формального представлення знань про закономірність прояву значень ознакової інформації щодо контролю повітряного простору, логічне виведення на однорідній функціональній мережі представимо у вигляді сукупності наступних етапів [6, 10]:

- 1) означення множини початкових вершин  $\{H_j\}_{j=1..J} = \{Pr_j^Z, Pr_j^T\}$  у

рамках визначення функцій приналежності кількісних і якісних ознак ситуацій у повітряному просторі:

– означення множини початкових вершин, що відповідають поточним ознакам  $\{\text{Пр}_j^T\}$  ознакам нештатних ситуацій (з урахуванням надходження значень ознак у реальному масштабі часу по каналах зв'язку від зовнішніх джерел інформації, а також за результатом рішення розрахункових задач);

– означення множини початкових вершин, що відповідають еталонним ознакам  $\{\text{Пр}_j^E\}$  нештатних ситуацій (еталонні значення ознак визначаються експертами на етапі концептуалізації завдань прийняття рішень);

– послідовний прохід по ОФМ знизу нагору до вершин порівняння з множини  $\{Z_j\}$ , для яких початкові вершини є вхідними;

2) визначення у вершинах з множини  $\{Z_j\}$  ступеня близькості еталонного і поточного розподілів значень однойменних ознак:

– визначення значення функції  $f_j(\text{Пр}_j^E, \text{Пр}_j^T)$ , даний крок процедури логічного виведення виконується тільки в тому випадку, якщо розглянуті початкові вершини (вхідні для вершин порівняння) є зазначеними;

– послідовний прохід по ОФМ знизу нагору до логічних вершин з множин  $\{K_\gamma\}$ ,  $\{D_\beta\}$ , для яких початкові вершини порівняння можуть бути вхідними;

3) визначення істинності логічних вершин:

– послідовний прохід по ОФМ знизу нагору по логічних вершинах (у даному випадку операції логіки являють собою операції над нечіткими множинами) з метою інтерпретації класів нештатних ситуацій у вершинах з множини  $\{K_\gamma\}$  передостаннього рівня ієрархії ОФМ;

– перехід по ОФМ від вершин передостаннього рівня до вершини визначення класу ситуації  $a_m^*$ ;

4) прийняття у вершині  $a_m^*$  рішення про клас інтерпретованих нештатних ситуацій з використанням правила найбільшого значення функції можливості. У результаті виконання останнього етапу отримується логічна формула, записана в диз'юнктивній нормальній формі. Кількість диз'юнктив цієї формули відповідає кількості груп ознак для опису нештатних ситуацій у повітряному просторі, а самі диз'юнкції являють собою множину означених ознак, які використовуються при розпізнаванні.

**Висновки.** Таким чином, розроблена методика формалізації задач виявлення нештатних ситуацій у повітряному просторі з використанням СППР полягає у виконанні наступних кроків:

– зведенні процесу виявлення нештатних ситуацій у повітряному просторі до рішення задач розпізнавання в розширеному розумінні, тобто в віднесенні ситуацій, що розпізнаються, до класу ситуацій відповідного алфавіту;

– розробки апарату формалізації задач виявлення нештатних ситуацій

у повітряному просторі з використанням СППР контролюючого типу на основі однорідної функціональної мережі;

– формальному представленні знань про закономірність прояву значень ознакової інформації щодо контролю повітряного простору з використанням положень теорії нечітких мір і множин;

– організації прямого логічного виведення в ширину на однорідній функціональній мережі.

Розроблена методика дозволяє, по-перше, забезпечити формалізацію знань про виявлення нештатних ситуацій у повітряного простору в рамках єдиного формалізму, по-друге, забезпечити організації на основі формалізованих знань логічного виведення з метою підтримки рішення по визначенню ситуації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994.
2. Володин М.И., Олизаренко С.А., Перишина Э.Ю. Разработка методики определения важности нештатных ситуаций воздушной обстановки на этапе проектирования системы поддержки принятия решений // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вып. 4 (44). – С. 23 – 29.
3. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров и др. – Х.: ХВУ, 1993. – 446 с.
4. Герасимов Б.М., Дивизиюк М.М., Субач И.Ю. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности. – Севастополь: Издательский центр, 2004. – 318 с.
5. Грачев В.М., Попрыгин А.Н. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети // Сб. научн. тр. ХВУ. – Х.: ХВУ. – 1995. – Вып. 8. – С. 49 – 54.
6. Низиенко Б.И., Затхей В.А. Селезнев С.Е. Использование функциональных сетей для означивания начальных условий в открытых экспертных системах // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2000. – Вып. 4 (30). С. 126 – 131.
7. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. – М.: Высш. шк., 1984. – 208 с.
8. Бондарев А.В., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для вузов. – Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с.
9. Ярушек В.Е., Козлов С.А. Метод построения сетевой модели задачи управления организационными системами // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Х.: Вища школа. – 1988. – Вып. 86. – С. 18 – 22.
10. Козлов С.А., Низиенко Б.И., Карпов С.И., Токарев А.Б. Реализации логического вывода при решении задач распределения ресурсов // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 1999. – Вып. 2 (24). – С. 100 – 106.

Надійшла 11.10.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор Ю.І. Лосев,

