

УДК 004.827

С.А. Олізаренко<sup>1</sup>, М.Ю. Кузнєцова<sup>1</sup>, В.І. Девяткін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup>В/ч А1215, Харків

## **РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН – ЗАГРОЗ ЗДІЙСНЕННЯ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТИВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

*Розглядається один з підходів до формалізації знань про процес прийняття рішень з класифікації повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів на основі використання алгоритму нечіткого виведення Сугено 0-порядку для нечітких логічних систем інтервального типу 2.*

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, повітряне судно – загроза здійснення терористичного акту, інтервальна нечітка множина типу 2, нечітка логічна система інтервального типу 2.

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** У відповідності до існуючої загрози здійснення терористичних актів з повітря одним із основних завдань Збройних Сил

України (ЗСУ) є завдання щодо ефективної протидії терактам з повітря.

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2007 року затверджений Порядок, згідно з яким встановлюються ознаки, за якими

повітряне судно класифікується як повітряне судно – загроза здійснення терористичних актів (у подальшому повітряне судно-загроза (ПСЗ)) та визначається триступенева система класифікації ПСЗ [1].

Одним з напрямків підвищення оперативності та достовірності класифікації ПСЗ особами бойової обслуги є автоматизація даного процесу за рахунок використання систем підтримки прийняття рішень (СППР) зі складу комплексів засобів автоматизації (КЗА) на автоматизованих пунктах управління Повітряних Сил ЗСУ у ході бойового чергування. З математичної точки зору задачу класифікації ПСЗ можна представити як задачу віднесення об'єкту з визначеними характеристиками до наперед заданого класу. При цьому, перехід від приналежності ПСЗ до відповідного класу є поступовим, тобто не однозначним. В зв'язку з цим, в даному випадку доцільним є використання нечітких класифікаторів на основі нечіткого логічного виведення.

На даний час, в рамках дослідження питань нечіткого логічного виведення актуальними є питання побудови та функціонування нечітких логічних систем інтервального типу 2 (НЛС ІТ2) для вирішення задач нечіткої класифікації з використанням СППР. НЛС ІТ2 це нечіткі логічні системи, які використовують інтервальні нечіткі множини типу 2 (ІНМТ2) в якості значень лінгвістичних змінних зі складу передумов та висновків відповідних нечітких продукційних правил. ІНМТ2 забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порівнянні з класичними нечіткими множинами (нечіткими множинами типу 1 (НМТ1)), є «реалізуємими» при розробці НЛС та мають меншу обчислювальну складність у порівнянні з загальними нечіткими множинами типу 2.

Однак, на даний час відсутні нечіткі класифікатори, що безпосередньо забезпечують автоматичну класифікацію ПСЗ на основі використання НЛС ІТ2, що в свою чергу визначає актуальність розробки пропозицій щодо формалізації процесу прийняття рішень з класифікації ПСЗ в умовах невизначеності на основі використання НЛС ІТ2.

**Аналіз літератури.** За останній час була проведена достатньо значна кількість досліджень, в яких розглянуті питання теми класифікації (ідентифікації) об'єктів. Так, наприклад, в [2 – 6] приведені дослідження безпосередньо щодо розпізнавання класів повітряних об'єктів на пунктах управління протиповітряної оборони, але без врахування невизначеності, в [7 – 9] розглянуто методики застосування нечіткої класифікації в різних областях дослідження, але не за тематикою даної статті, в [10] представлена методика формалізації процесу прийняття рішень безпосередньо з нечіткої класифікації повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів, але тільки на основі НМТ1.

**Метою статті** є розробка пропозицій щодо формалізації знань про процес прийняття рішень з класифікації повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів на основі використання алгоритму нечіткого виведення для НЛС ІТ2, які дозволять врахувати як лінгвістичну, так і нестохастичну невизначеність опису ознак класів ПСЗ шляхом формалізації більшої кількості додаткових ступенів невизначеності у порівнянні з НМТ1.

### Основна частина

Відповідно до [1] визначимо наступну множину класів ПСЗ  $C_{PSZ} = \{c_1, c_2, c_3\}$ , де  $c_1$  – «повітряне судно – підозрювана загроза»;  $c_2$  – «повітряне судно – правдоподібна загроза»;  $c_3$  – «повітряне судно – підтверджена загроза».

В якості пропозицій щодо формалізації знань про процес прийняття рішень з класифікації ПСЗ пропонується відповідний метод на основі нечіткої класифікації з використанням алгоритму нечіткого виведення Сугено 0-порядку для НЛС ІТ2, який включає наступні основні операції:

1) формалізоване представлення в термінах НЛС ІТ2 змінних, що описують ознаки ПСЗ. Формальний опис  $j$ -го класу ПСЗ  $c_j \in C_{PSZ}$ ,  $j = 1 \dots 3$ , в рамках даної статті представляється у вигляді кортежу згідно наступного виразу

$$c_j = \langle \text{FOU } \tilde{A}_1, \text{FOU } \tilde{A}_2, \dots, \text{FOU } \tilde{A}_m \rangle, \quad (1)$$

де  $\tilde{A}_i$  – ІНМТ2, яке представляє в нечіткій постановці формалізовані данні щодо  $i$ -ої ознаки  $c_j \in C_{PSZ}$ ;  $\text{FOU } \tilde{A}_i$  – займана площа невизначеності ІНМТ2  $\tilde{A}_i$ .

В зв'язку з тим, що вторинні ступені ІНМТ2 не передають нової інформації про додаткові ступені невизначеності, то будемо вважати, що  $\text{FOU}$  представляє собою закінчений опис ІНМТ2 [ 1].

2) формування бази правил НЛС ІТ2 для вирішення задачі класифікації ПСЗ у вигляді сукупності нечітких продукційних правил, де у складі передумов та висновків нечітких продукційних правил використовуються змінні, отримані на попередньому етапі

$R: \text{IF } \beta_1 \text{ is } \alpha_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \beta_n \text{ is } \alpha_n \text{ THEN } \beta_{n+1} = c_j, \quad (2)$   
де  $\beta_1$  – найменування вхідної лінгвістичної змінної (ЛЗ), яка задається кортежем  $\langle \beta_i, T_i, X_i, M_i \rangle$ , де  $i = 1, \dots, n$  та  $n$  – кількість вхідних ЛЗ;  $T_i = \alpha_i$  – множина значень (термів) вхідної ЛЗ правила  $R$ , кожен з яких представляє найменування нечіткої змінної (НЗ);  $X_i$  – область значень НЗ;  $M_i$  – сема

тична процедура, яка ставить у відповідність значенню ЛЗ ІНМТ2;

$\beta_{n+1}$  – найменування вихідної ЛЗ («ПСЗ»), яка задається кортежем  $\langle \beta_{n+1}, T_{n+1}, Y, M_{n+1} \rangle$ , де  $T_{n+1} = C_{PSZ} = \{c_j\}$  – множина значень (термів) вихідної ЛЗ правила R, кожен з яких представляє найменування класу ПСЗ; Y – область значень НЗ у вигляді номеру класу ПСЗ;  $M_{n+1}$  – семантична процедура, яка ставить у відповідність значенню ЛЗ одню точкову ІНМТ2;  $\alpha_i$  – значення терму вхідної ЛЗ у вигляді найменування НЗ (лінгвістичного значення ознаки класу), яка представляється кортежем  $\langle \alpha_i, X_i, \tilde{A} \rangle$ ,  $i = 1, \dots, n$ , де  $\tilde{A} \subseteq X_i$ ,  $\tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}$  або  $\tilde{A} = \{x, u, 1\} | \forall x \in X_i, \forall u \in J_x \subseteq U = [0, 1]$  – ІНМТ2 на множині  $X_i$ , яка визначає можливі значення, які може приймати НЗ  $\alpha_i \in T_i$ ;  $c_j$  – значення терму вихідної ЛЗ у вигляді найменування або номеру класу з  $C_{PSZ} = \{c_j\}$ ,  $j = 1, \dots, 3$ ;

4) виконання процедури фазифікації [12]. Сутність виконання процедури фазифікації значень вхідних змінних НЛС ІТ2 полягає в знаходженні значень функцій приналежності ІНМТ2, які формально представляють передумови бази правил НЛС ІТ2 для вирішення задачі класифікації ПСЗ на основі звичайних (не нечітких) даних. На першому етапі виконання процедури фазифікації значенням вхідних змінних НЛС ІТ2  $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)^T$  ставляється у відповідність ІНМТ2

$$\begin{aligned} \tilde{A}' &= \tilde{A}'_1 \times \tilde{A}'_2 \times \dots \times \tilde{A}'_n; \\ \tilde{A}' &\subseteq X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n, \end{aligned} \quad (3)$$

де 
$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A}'}(x) &= \mu_{\tilde{A}'_1 \times \tilde{A}'_2 \times \dots \times \tilde{A}'_n}(x) = \\ &= \mu_{\tilde{A}'_1}(x_1) \Pi \mu_{\tilde{A}'_2}(x_2) \Pi \dots \Pi \mu_{\tilde{A}'_n}(x_n). \end{aligned}$$

На другому етапі виконання процедури фазифікації виконується встановлення відповідності між фазифікованими значеннями вхідних змінних НЛС ІТ2, представлених у вигляді одно точкових ІНМТ2, і відповідних їм термами вхідних ЛЗ, представлених у вигляді ІНМТ2. Результат співставлення фазифікованого значення вхідної змінної  $x'_i$  і терму вхідної ЛЗ у вигляді ІНМТ2  $\tilde{A}_i$  представляється як інтервал значень вторинної змінної, тобто у вигляді первинної приналежності  $J_{x'_i}$ , де

$$J_{x'_i} = \left[ \mu_{\tilde{A}_i}(x'_i), \bar{\mu}_{\tilde{A}_i}(x'_i) \right], J_{x'_i} \in \text{FOU}(\tilde{A}_i) \quad (4)$$

де  $J_{x'_i}$  – первинна приналежність, яка представляє собою область визначення вторинної функції приналежності  $\mu_{\tilde{A}_i}(x'_i)$ ;

5) виконання процедури агрегування [12]. Сутність процедури агрегування полягає в визначенні агрегованого ступеню істинності по всім передумовам кожного активізованого нечіткого продукційного правила у вигляді активізаційного рівня.

Результат виконання процедури агрегування для активізованого нечіткого продукційного правила формально представляється такому вигляді

$$\begin{aligned} f(x') &= [f_-(x'), \bar{f}_-(x')] = \\ &= \left[ T_{c_1}(\dots, x'_1, \dots, T_{c_2}(\dots, x'_2, \dots) \right], \end{aligned} \quad (5)$$

де  $f(x')$  – активізаційний рівень у вигляді активізаційного інтервала;

$f_-(x') \equiv \underline{f}$  – значення нижньої границі активізаційного інтервалу, отриманого з використанням операції T-норми, аргументами якої є значення нижніх функцій приналежності ІНМТ2 з передумов активізованого нечіткого продукційного правила;

$\bar{f}_-(x') \equiv \bar{f}$  – значення верхньої границі активізаційного інтервалу, отриманого з використанням операції T-норми, аргументами якої є значення верхніх функцій приналежності ІНМТ2 з передумов активізованого нечіткого продукційного правила;

T – позначення операції T-норми, в якості T-норми використовується операція мінімуму;

6) виконання процедури активізації [12]. Активізаційний рівень інтерпретується як первинна приналежність (область визначення нечіткого ступеню приналежності об'єкта класифікації (ПСЗ)), до наперед заданого класу ПСЗ з  $C_{PSZ} = \{c_j\}$ ,  $j = 1, \dots, 3$ .

Результат виконання процедури активізації для нечіткого продукційного правила формально представляється в наступному вигляді

$$J_{c_j} = f(x') = [f_-(x'), \bar{f}_-(x')]; \quad (6)$$

7) формування для кожного об'єкта класифікації (ПСЗ) вектору, що описує приналежність даного об'єкта (у вигляді нечітких ступенів приналежності, отриманих на попередньому етапі) до кожного наперед заданого класу ПСЗ. Результат формування вектору формально представляється в такому вигляді:

$$\begin{aligned} F_{PSZ} &= \left( J_{c_1}, J_{c_2}, J_{c_3} \right) = \left( f_-(x'), \bar{f}_-(x'), f_-(x') \right) = \\ &= \left( \begin{bmatrix} f_-(x') & \bar{f}_-(x') \\ f_-(x') & \bar{f}_-(x') \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} f_-(x') & \bar{f}_-(x') \\ f_-(x') & \bar{f}_-(x') \end{bmatrix} \right); \end{aligned} \quad (7)$$

8) визначення в якості результату вирішення задачі класифікації ПСЗ такого класу, до якого об'єкт класифікації (ПСЗ) має максимальну нечітку ступінь приналежності. Результат визначення максимального нечіткого ступеню приналежності (на-

строого максимального інтервального числа [13] формально представляється в такому вигляді:

$$c_{\max} = \arg \max_{c_1, c_2, c_3} \left( f(x^1) \wedge f(x^2) \wedge f(x^3) \right).$$

### ВИСНОВКИ

Розроблені пропозиції щодо формалізації знань про процес прийняття рішень з класифікації повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів на основі використання алгоритму нечіткого виведення для НЛС ІГ2 дозволяють врахувати як лінгвістичну, так і нестохастичну невизначеність опису ознак класів ПСЗ шляхом формалізації додаткових ступенів невизначеності у вигляді первинної приналежності ІНМТ2 (область визначення вторинної функції приналежності у вигляді інтервалу значень) у порівнянні з чітким значенням функції приналежності НМТ1 та інтервалів невизначеності площі невизначеності ІНМТ2 у порівнянні з чіткими крайніми значеннями носія НМТ1. При цьому, безпосередньо задача класифікації ПСЗ зводиться до визначення значень нечіткої функції приналежності ПСЗ до кожного з трьох наперед заданих класів ПСЗ та визначення максимального значення як результату класифікації.

### Список літератури

1. Порядок взаємодії з притинення протиправних дій повітряних суден, які можуть використовуватися для вчинення терористичних актів у повітряному просторі України у мирний час. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2007 р., № 153.
2. Низиенко Б.И. Методика автоматизированного синтеза формализованных описаний для распознавания ВО / Б.И. Низиенко, О.В. Шевченко, А.В. Александров // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2000. – Вып. 1. – С. 29-35.
3. Грачев В.М. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети / В.М. Грачев, А.Н. Попрыгин // Сб. научн. тр. ХВУ. – 1995. – Вып. 8. – С. 49-54.
4. Володин М.И. Разработка методики определения важности нештатных ситуаций воздушной обстановки на этапе проектирования системы поддержки принятия решений / М.И. Володин, С.А. Олизаренко, Э.Ю. Першина // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ ПС, 2005. – Вып. 4 (44). – С. 23-29.
5. Выбор метода решения задачи распознавания воздушных объектов в экспертной системе реального времени / В.А. Затхей, М.А. Павленко, А.В. Першин, А.В. Александров // Моделирование та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ПИМЕ, 2004. – Вып. 26. – С. 67-74.
6. Метод визначення типу повітряного об'єкту / М.И. Володин, Е.Ю. Першина, В.О. Капранов, Б.М. Шмоняк // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ ПС, 2005. – Вып. 1(59). – С. 24-28.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
8. Рыжов А.П. О качестве классификации объектов на основе нечетких правил. Интеллектуальные системы / А.П. Рыжов. Т. 9, Вып. 1–4. – 2005. – С. 253-264.
9. Леоненков А.В. «Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH» / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
10. Олизаренко С.А. Побудова методики формалізації процесу прийняття рішень з класифікації повітряних суден – загроз здійснення терористичних актів / С.А. Олизаренко, О.В. Шевченко, С.А. Бідний // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вып. 3 (11). – С. 56-57.
11. Олизаренко С.А. Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ ПС, 2011. – Вып. 2(92). – С. 39-45.
12. Олизаренко С.А. Нечеткие логические системы интервального типа 2. Архитектура и механизм вывода / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ ПС, 2011. – Вып. 5(95). – С. 156-164.
13. Левин В.И. Сравнение интервальных величин и оптимизация неопределенных систем / В.И. Левин // Наука и образование, №7, Июль 2005. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://techomag.edu.ru/doc/52382.html>.

Надійшла до редколегії 20.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО КЛАССИФИКАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДЕН – УГРОЗ СОВЕРШЕНИЯ СЪЕЗ УСИЛОВИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

С.А. Олизаренко, М.Ю. Кузнецова, В.И. Девяткін

Рассматривается один из подходов к формализации знаний о процессе принятия решений по классификации воздушных суден – угроз совершения террористических актов на основе использования алгоритма нечеткого вывода Sugeno 0-порядка для нечетких логических систем интервального типа 2.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, воздушное судно – угроза совершения террористического акта, интервальное нечеткое множество типа 2, нечеткая логическая система интервального типа 2.

### DEVELOPMENT OF SUGGESTIONS ON FORMALIZATION PROCESS OF ACCEPTANCE RISHENIY ON CLASSIFICATION AIR SHIPS – THREATS ASSASSINATING IN THE CONDITIONS OF VAGUENESS

S.A. Olizarenko, M.Yu. Kuznetsova, V.I. Dev'atkin

One going is examined near formalization of knowledges about the process making a decision on classification air ships – threats assassinating on the basis the use algorithm unclear conclusion Sugeno 0-order for the unclear logical systems interval type 2.

**Keywords:** system support making a decision, an air ship is a threat of assassinating, interval fuzzy set type 2, unclear