

**С.С. БУЧИК, викладач**  
**Б.М. ГЕРАСИМОВ, д.т.н., проф.**  
**С.О. КОНДРАТЕНКО, ад'юнкт**

*Житомирський військовий інститут радіоелектроніки*

## МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОЗАШТАТНИХ СИТУАЦІЙ БОРТОВИХ СИСТЕМ КОСМІЧНОГО АПАРАТА

*Викладена методика, яка дозволить реалізувати алгоритм ідентифікації позаштатних ситуацій бортових систем космічного апарата, що істотно підвищить ефективність прийняття рішень оперативним персоналом центру управління польотами в умовах конфлікту.*

В сучасному автоматизованому комплексі управління космічними апаратами (КА) процес управління здійснюється автоматично, без участі оператора [1]. Контроль працездатності й оцінка стану КА здійснюється за значеннями телеметричної інформації (ТМІ).

Пропонується основним критерієм працездатності бортових систем КА вважати наявність чи відсутність у них позаштатних ситуацій [2].

Під позаштатною ситуацією (ПС) будемо розуміти “несправність” та “аварійна ситуація”. Під “несправністю” – невідповідність режиму роботи чи стану апаратури заданим програмою роботи режимам; відхилення значень параметрів (напруга, струмопостачання, температура) від установлених норм; припинення функціонування приладів чи систем (з урахуванням можливого резервування). Під “аварійною ситуацією” будемо розуміти несправність чи сукупність несправностей, що ставлять під загрозу можливість подальшого використання КА за цільовим призначенням, що, в свою чергу, призводить до припинення активного існування КА в цілому.

У випадку виявлення ПС, їхня ідентифікація проводиться з залученням експертного досвіду.

В даний час при ідентифікації використовується методика, яка має ряд істотних недоліків: неврахований нечіткий характер границь класів ПС за кожною з ідентифікаційних ознак, а також їхнє перетинання один з одним; немає механізму аналізу якісної інформації; умова рівнозначності ознак не відповідає характеру розв'язуваної задачі; для роботи в реальному масштабі часу необхідний набір статистичної інформації, що може призвести до втрати апарата.

Останній недолік є критичним, тому що умова роботи в реальному часі є основною при розробці системи підтримки прийняття рішень (СППР) оперативним персоналом центру управління польотами.

Подолати зазначені недоліки дозволяє методика ідентифікації ПС за інформативними ознаками. Дана методика базується на використанні експертних знань, формалізованих за допомогою апарата нечітких множин, і на визначенні “інформативності” ідентифікаційних ознак [5, 8].

Ідентифікація – віднесення об'єкта до класу з заздалегідь відомим описом, тому рішення задачі ідентифікації ПС неможливо без попередньої їхньої класифікації. Задача класифікації ПС повинна бути вирішена на етапі розробки СППР [6].

Як показано в ряді робіт, найбільш адекватне представлення якісної інформації досягається застосуванням апарата теорії нечітких множин [3, 4, 7].

Формально задачу ідентифікації ПС можна звести до такого.

Нехай  $X = \{x_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  – множина ПС;  $P = \{p_k\}$ ,  $k = \overline{1, h}$  – базова кінцева множина ідентифікаційних ознак;  $Z = \{\tilde{Z}_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$  – множина класів ПС, де  $\tilde{Z}_j = \{p_k, \mu_{Z_j}(p_k)\}$  – нечітка множина, що описує клас ПС на множині ознак  $P = \{p_k\}$ ;  $\mu_{Z_j}(p_k): p_k \rightarrow [0, 1]$  – функція належності (ФН) ПС класу  $\tilde{Z}_j$  за  $k$ -ою ознакою.

Необхідно на підставі поточної інформації про ПС, що являє собою вектор у просторі ознак  $p(x_i) = \{p_k\}$ ,  $k = \overline{1, h}$ , віднести ПС  $x_i \in X$  до одного з  $m$  класів ПС  $\tilde{Z} \in Z$ . Вважаємо, що ознаки  $p_k \in P$  незалежні і не рівні між собою за важливістю, тобто пов'язані відношенням “більш важливий”, що є відношенням переваги. У цьому випадку необхідно ввести ранжирування ознак  $p_k$  за важливістю та визначення коефіцієнтів відносної важливості  $v_k$  для кожного з  $p_k \in P$ . Рішенням задачі ранжирування є вектор ваг відносної важливості ідентифікаційних ознак:

$$V = \{v_k\}, \quad k = \overline{1, h}; \tag{1}$$

$$\sum_{k=1}^h v_k = 1. \tag{2}$$

$V$  задається на етапі експертного опитування. При малому  $h$  формування  $V$  можливе шляхом безпосереднього завдання експертами значень ваг  $v_k$  ідентифікаційних ознак  $p_k \in P$ .

При великих значеннях  $h$  доцільно скористатися підходом, суть якого полягає у використанні для визначення ваг ідентифікаційних ознак матриці оцінок за парними відносинами [7].

Нехай існує  $h$  ознак  $p_1, p_2, \dots, p_h$  та  $v = (v_1, v_2, \dots, v_h)$  – вектор ваг, для якого виконується умова (2). Передбачається, що результати парного порівняння ознак за вагами описуються відносними вагами цих ознак. Результати такого порівняння можна представити у вигляді матриці розміром  $h \times h$ :

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & \dots & p_h \\ v_1/v_1 & v_1/v_2 & \dots & v_1/v_h \\ v_2/v_1 & v_2/v_2 & \dots & v_2/v_h \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_h/v_1 & v_h/v_2 & \dots & v_h/v_h \end{pmatrix}.$$

Матриця  $P$  має таку властивість:

$$Pv = Iv$$

чи

$$(P - hI)v = 0, \tag{3}$$

де  $I$  – одинична матриця, а  $v$  – вектор відносних ваг розглянутих ознак.

Нехай  $v$  невідомі, а відома тільки матриця  $P$ . Тоді для перебування  $v$  по  $P$  досить вирішити рівняння (3). Оскільки ранг матриці дорівнює 1, то  $h$  – єдине власне число цієї матриці і, отже, рівняння (3) має нульове рішення. Крім того, воно має єдине рішення, що володіє властивістю (2). Це рішення – шуканий вектор.

Допустимо, що елементи  $p_{ij}$  матриці  $P$  – неточні значення відносин ваг ознак, а їхні оцінки запропоновані експертами, причому виконується умова  $p_{ij} = 1/p_{ji}$ . Тоді, у загальному випадку, для матриці не виконана властивість  $p_{ij} \cdot p_{jk} = p_{ik}$ , яка необхідна для існування нетривіального рішення рівняння (3). Отже, варто розглядати більш загальне рівняння вигляду

$$(p - \delta_{\max} I)v = 0, \tag{4}$$

де  $\delta_{\max}$  – максимальне власне число матриці  $P$ ,  $\delta_{\max} \geq h$ .

Таким чином ясно, що занадто сильна відмінність  $\delta_{\max}$  від  $h$  попереджає про внутрішню непогодженість оцінок експертом значень елементів матриці та про необхідність їхнього уточнення. Якщо ж значення  $\delta_{\max}$  достатньо близьке до  $h$ , то нормований до 1 вектор  $v$  є рішенням рівняння (4) або його можна прийняти як рішення задачі.

В результаті визначення вектора ваг відносної важливості  $V$  простір ідентифікаційних ознак  $P$  може бути упорядкований за відотною важливістю ознак так:

$$P^* = \{p_\omega\}, \quad \omega = \overline{1, r}, \quad r = h, \tag{5}$$

причому

$$V^* = \{v_\omega\}, \quad v_\omega > v_{\omega+1}. \tag{6}$$

Далі під простором ідентифікаційних ознак розуміється упорядкований простір вигляду (5), а під вектором ваг відносної важливості цих ознак – вектор (6).

Визначення вектора ваг відносної важливості ідентифікаційних ознак  $V^*$ , відповідно до умов (2) і (6), задає на просторі ознак  $P^*$  нечітку множину “важливих” ознак вигляду:

$$P_\Omega = \{p_\omega, v_\omega\}, \tag{7}$$

де  $p_\omega \in P^*$ ,  $v_\omega : p_\omega \rightarrow [0, 1]$  – функція належності  $p_\omega$  нечіткій множині важливих ознак.

При розробці СППР оперативного персоналу за ПС на етапі експертного опитування, крім формування  $V^*$ , будуються функції належності ПС [7] кожному з  $m$ -класів за кожною з  $z$ -ознак:

$$\mu_{z_j}(p_\omega) : p_\omega \rightarrow [0,1]. \tag{8}$$

При надходженні інформації про ПС  $x_i \in X$ , що є вектором у просторі ідентифікаційних ознак (5), формуються  $m$  векторів оцінки належності ПС  $x_i$  кожному з  $m$ -класів:

$$Q_j(x_i) = \{\mu_{z_j}(p_{\omega_i})\}, \tag{9}$$

де  $\mu_{z_j}(p_{\omega_i})$  – значення функції належності для  $i$ -ої ПС.

Варто відмітити, що при аналізі ідентифікаційних ознак ясно, що вони розрізняються між собою не тільки важливістю, але й інформативністю.

Під інформативністю значення ідентифікаційної ознаки  $p_\omega$  будемо розуміти величину, що характеризує ступінь однозначності віднесення  $i$ -ої ПС до  $j$ -го класу за ознакою  $\omega$  :

$$I_\omega(x_i) = \min \left( \max_j \mu_{z_j}(p_{\omega_i}) - \mu_{z_j}(p_{\omega_j}) \mid u \neq u : \max_j \mu_{z_j}(p_{z_j}) \right). \tag{10}$$

З (8) та (10) випливає, що:

$$I_\omega(x_i) : p_\omega \rightarrow [0,1], \tag{11}$$

тобто інформативність значень ознак (10) задає на множині  $P^*$  нечітка множина “інформативних” ознак вигляду:

$$P_I = \{p_\omega, I_\omega(x_i)\}. \tag{12}$$

Розглянемо підмножину  $\alpha$ -рівня множини (12) [7]:

$$P_I^\alpha = \{p_{\omega_i}^\alpha \mid p_{\omega_i}^\alpha \in P^*, I_\omega(x_i) \geq \alpha\}, \tag{13}$$

де  $\alpha$  трактується як рівень інформативної достатності ознак  $p_\omega \in P^*$  і задається на етапі експертного опитування. Завдання  $\alpha$ -рівня “інформативних” ознак дозволяє використовувати для ідентифікації ПС тільки ті ідентифікаційні ознаки, за якими ступінь однозначності віднесення даної ПС до одного з  $m$ -класів не менш заданого рівня  $\alpha$ .

В результаті застосування на множині ознак  $P^*$  критерію (10) вектор оцінки належності ПС  $x_i$  до  $j$ -го класу набуває такого вигляду:

$$Q_j^\alpha = \{\mu_{z_j}(p_{\omega_i}^\alpha)\}. \tag{14}$$

Задача ідентифікації об'єкта за  $z$ -ознаками являє собою багатокритеріальну задачу вибору альтернатив на просторі. Одним з методів рішення такої задачі є метод лексикографічного упорядкування альтернатив за перевагами. Його головною перевагою є простота реалізації. Однак застосування цього методу для рішення задачі ідентифікації ПС обмежено, тому що на практиці не завжди можливо зробити лексикографічне упорядкування ознак. До виконання умови впорядкування може призвести виключення з розгляду “неінформативних” ознак за критерієм (10).

Для реалізації процедури лексикографічного упорядкування ознак на просторі  $P^*$  задається сім'я нечітких  $\{\tilde{P}_{\Delta\omega}\}$ , така, що:

$$\tilde{P}_{\Delta\omega} = \{p_h, \Delta v_h\}, \tag{15}$$

де

$$\Delta v_h = v_\omega - v_h \mid \omega = \overline{1, z}, h = \overline{\omega + 1, z}, \tag{16}$$

$$\Delta v_h : p_h \rightarrow [0,1], v_h \in V^*, p_h \in P^*.$$

$\{\tilde{P}_{\Delta\omega}\}$  – нечітка множина “менш важливих” щодо  $p_\omega$  ознак.

Вводячи значення  $\alpha^*$ , визначаємо на множині  $\{\tilde{P}_{\Delta\omega}\}$  підмножини  $\alpha^*$ -рівня, що відповідають поняттю “значно менш важливий” щодо кожного з  $p_\omega$  :

$$P_{\Delta\omega}^{\alpha^*} = \{p_h \mid p_h \in P^*, \Delta v_h \geq \alpha^*\} \tag{17}$$

Задача ідентифікації ПС може бути вирішена методом лексикографічного упорядкування, якщо виконується умова:

$$P_I^\alpha \subset P_{\Delta\omega}^{\alpha^*} . \quad (18)$$

Значення  $\alpha^*$  задається на етапі експертного опитування.

Таким чином, для рішення задачі ідентифікації ПС у рамках СППР оператора за допомогою даної методики необхідно виконати такі дії.

На етапі експертного опитування:

1. Уточнити перелік ідентифікаційних ознак і здійснити класифікацію ПС за одним з відомих методів.
2. Сформувати матрицю за парними порівняннями ваг відносної важливості ідентифікаційних ознак і вирішити рівняння (4), задаючи нечітку множину "важливих" ознак (7).
3. Впорядкувати простір ідентифікаційних ознак і вектор відносної важливості ознак щодо ваг ознак (5), (6).
4. Побудувати функції належності ПС  $j$ -му класу за  $k$ -ою ознакою.
5. Задати рівень інформативної достатності ідентифікаційних  $\alpha$ -ознак.
6. Сформувати сім'ю нечітких множин (15) "менш важливих" ознак.
7. Задати граничне значення  $\alpha^*$  терма "значно менш важливий".
8. Визначити множину лексикографічно впорядкованих ознак (17), як множину  $\alpha^*$ -рівня на (15).

В реальному масштабі часу:

1. При надходженні інформації про ПС  $x_i \in X$  сформувати  $m$  векторів оцінки приналежності об'єкта  $x_i$   $j$ -му класу (9).
2. Визначити інформативність значень ідентифікаційних ознак (10), сформувати нечітку множину "інформативних" ознак (12) на  $P^*$ .
3. Визначити множину  $\alpha$ -рівня (13) на нечіткій множині інформативних ознак, сформувати  $m$  векторів оцінки з урахуванням критерію інформативності (14).
4. Перевірити виконання умови (18) рішення задачі ідентифікації ПС та здійснити ідентифікацію.

Методика, що викладена в даній роботі, дозволить реалізувати алгоритм ідентифікації ПС бортових систем космічного апарата, що істотно підвищить ефективність прийняття рішень оперативним персоналом центру управління польотами в умовах конфлікту.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. Человечно-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. – К.: Наукова думка, 1993. – 181 с.
2. Герасимов Б.М., Бобунов А.И., Кондратенко С.О. Распознавание нештатных ситуаций борту космических аппаратов//Сборник научных трудов КВИУС. – 2000. – № 3. – С. 41–45.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
4. Нечеткие множества в теории возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
5. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с.
6. Ротштейн А.П., Котельников Д.И. Идентификация нелинейных объектов нечеткими базами знаний // Кибернетика и системный анализ, 1998. – № 5. – С. 53–61.
7. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечёткая надёжность алгоритмических процессов. – Винница: Континент. – 1997. – 142 с.
8. Ротштейн А.П., Кузнецов В.П. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. – Киев: Техника, 1999. – 180 с.

БУЧИК Сергій Степанович – викладач Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– розпізнавання позаштатних ситуацій при управлінні складними інформаційними системами.

ГЕРАСИМОВ Борис Михайлович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– інтелектуальні системи і системи відображення.

КОНДРАТЕНКО Сергій Олександрович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– інтелектуальні системи і системи відображення інформації.

Подано 25.04.2001