

**В.А. Шуренок, к.т.н., доц.**  
*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*  
*Національного авіаційного університету*

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІЄРАРХІЧНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ НА ЕТАПІ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ РАДІОМОНІТОРИНГУ**

*У статті розроблено та досліджено концептуальні основи забезпечення функціональної стійкості (ФС) багаторівневого ієрархічного інформаційного процесу (ІП) на етапі класифікації групових об'єктів радіомоніторингу (ОР). Зроблено висновок про доцільність застосування для управління ІП на цьому етапі теорії нечітких множин та надлишковості в системі радіомоніторингу (РМ) для забезпечення його ФС.*

**Постановка проблеми.** Технічні системи РМ багаторівневі, їх прийнято розглядати через різні ієрархічні моделі, які відображають її інформаційну, функціональну та морфологічну структуру. Основною серед них є інформаційна структура, яка забезпечує реалізацію інформаційного процесу за певними етапами на основі відомих методів РМ [1, 2].

Необхідність забезпечення безперервності ведення ІП у системі РМ з певними показниками якості потребує визначення його характеристик у часі та управління ним на кожному рівні та етапі. Це вимагає врахування змін радіоелектронної обстановки (РЕО), наслідків дії різних факторів, аналізу ситуацій, які неможливо точно передбачити [3, 4]. Це у свою чергу, обґрунтовує пошук нових напрямків підвищення ефективності управління ІП на основі використання різних видів надмірності системи: функціональної, структурної, програмної.

Перераховані фактори зумовлюють зростання динамічності РЕО і, як наслідок, зменшення часу, необхідного для прийняття рішення щодо управління ІП. У таких умовах найбільш складним етапом ІП стає класифікація ОР, яка потребує пошуку нових методів обробки інформації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Управління ІП на етапі класифікації ОР – багатокритерійне завдання, розв'язання якої ускладнюється необхідністю врахування групових уподобань осіб, що беруть участь у процесі прийняття рішень на всіх його рівнях. Якість розв'язання задачі управління ІП на цьому етапі не може оцінюватися однією функцією і навіть декількома шкалами. Механізм раціонального вибору у таких випадках вимагає додаткової непрямой інформації, що дозволяє, принаймні, порівнювати альтернативи стратегій управління [5–7]. Основною метою управління ІП на цьому етапі є забезпечення виконання завдання класифікації ОР впродовж заданого часового інтервалу у різних умовах обстановки, навіть з погіршеними показниками якості. Таким чином, при управлінні ІП виникає протиріччя між вимогами до повноти й якості виконання завдання класифікації в різних умовах обстановки і браком інформації, сил та засобів, які його здійснюють.

При цьому перспективним напрямком дослідження багатокритерійної нечіткої оптимізації управління багаторівневим ІП на етапі класифікації залишається застосування положень та інструментарію теорії ФС [8, 9].

Існуючі теоретичні підходи до управління ІП у багаторівневій системі РМ свідчать, що вони зводяться до оптимізації систем за одним узагальненим критерієм, який охоплює декілька часткових [10]. При цьому не враховується комплексність системного управління багаторівневим ІП, необхідність урахування невизначеності, динамічності обстановки та парирування наслідків нештатних ситуацій (при відмовах, пошкодженнях) на кожному його етапі для забезпечення безперервності виконання завдань, хоча б з мінімально допустимими показниками якості шляхом уведення та використання різних видів надлишковості [8, 9].

Відповідно до такого підходу постановка завдання ФС управління ІП у багаторівневій ієрархічній системі РМ у математичній формі на основі [1, 11, 12] подана таким чином.

Основною метою управління ІП у системі РМ є знаходження на кожному її рівні  $i$ , де  $i = \overline{1, N}$  вектора рішень  $x_i^0(t)$ , які забезпечують максимум системного вектора цільових функцій  $F(x_1^0, \dots, x_N^0)$  при координаційному завданні  $x_{N+1}^0(t)$ ,  $(N+1)$  – рівня. Управління з ІП здійснюється дискретно в моменти часу  $t = \overline{1, T}$ . Частина рішень має характер управляючих дій, а більша частина лише координує роботу підсистем на різних етапах процесу. Призначення цільових функцій можна розглядати як засіб координації, проте в цій задачі передбачається, що вони вже вибрані.

Знайдені рішення щодо управління ІП для певного рівня системи  $\{x_i^0\}, i = \overline{1, N}$  повинні належати підмножині прийнятих результатів розв'язання задачі  $C \subset X$ , тобто бути узгодженим з допустимими показниками якості (функціонально стійкими).

**Викладення основного матеріалу.** Спроба використання єдиного глобального критерію  $F(\bar{X}_n)$  з подальшою його декомпозицією для різних рівнів та етапів ІІ робить задачу оптимізації вкрай складною та ігнорує наявність власних цільових функцій. Глобальна цільова функція  $F(\bar{X}_n)$  не залежить явним чином від рішень, що приймаються на кожному етапі ІІ на різних рівнях, що ускладнює вибір їх режимів функціонування і шляхів покращення ІІ [12]. Тому припускається, що для кожного  $j$ -го етапу ІІ, на  $i$ -му рівні системи задані свої цілі  $F(\bar{i}j)$  на множині рішень, а системна цільова функція  $F(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$  є векторною і залежить як від глобального критерію  $F(\bar{x}_n)$ , так і від цільових функцій виконання етапів ІІ на певному рівні  $F(\bar{i}j)$ .

Застосовуючи метод інваріантного занурення [12] для управління, ІІ, розглядається замість задачі з чітким розв'язком,  $x_{N+1}^0$  на  $(N+1)$ -му рівні системи і фіксованим їх числом  $N$  деяке сімейство задач з  $N = 1, 2, 3, \dots; x_{N+1}^0 = [0, \infty]$ . У цьому випадку максимум функцій  $F(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_N)$  залежить від  $N$  і  $\bar{x}_i$ . Таким чином, початкова чітка задача фактично розмивається, що призводить до необхідності нечіткого розв'язку для кожного рівня системи та етапу ІІ. Це дозволяє застосувати для розв'язання задачі апарат теорії нечітких множин (ТНМ).

Для управління ІІ на окремих етапах, рівнях системи та для всієї системи в цілому використовується ФН рішень, що приймаються, до підмножини ефективних  $G \subset X$  з ФН  $\mu_G(x_{ij})$ , допустимих  $C \subset X$  з ФН  $\mu_C(x_{ij})$  і скоординованих  $K \subset X$  з ФН  $\mu_K(\bar{x}_{ij})$  рішень  $\mu_D(\bar{x}_N)$ , які характеризують ФС управління ІІ. Для кожного етапу, рівня ІІ функції належності визначаються на множині рішень  $X = \{x_{ij}\}$ , де  $i$  – рівні системи  $i = \bar{1}, \bar{N}$ ;  $j$  – етапи ІІ  $j = \bar{1}, \bar{M}$ .

Нечіткі  $G$ ,  $C$  і  $K$  визначають вибір рішення  $x_{ij}$  на етапі як їх перетин  $G \cap C \cap K$ . Тоді ФН можна задати співвідношенням:

$$\mu_{G \cap C \cap K}(x_{ij}) = \mu_G(x_{ij}) \wedge \mu_C(x_{ij}) \wedge \mu_K(x_{ij}) = \min\{\mu_G(x_{ij}), \mu_C(x_{ij}), \mu_K(x_{ij})\}; x_{ij} \in X. \quad (1)$$

Нечітка множина  $D = G \cap C \cap K$  є нечітким рішенням для  $j$ -го етапу ІІ, що приймається на  $i$ -му рівні системи, причому  $\mu_D(x_{ij}) = \mu_{G \cap C \cap K}(x_{ij})$ .

За наявності інформаційних потоків між рівнями рішення для певного етапу  $r$  ІІ на рівні  $(i+1)$  може бути пов'язане з рішенням на ряді етапів на  $i$ -му рівні рівнянням:

$$x_{(i+1)r} = f(x_{i1}, \dots, x_{iM}). \quad (2)$$

У разі, коли множина рішень  $X$  для етапу  $r$   $i+1$ -го рівня залежить тільки від одного параметра, що визначається на нижчому рівні рівняння (2), записується у вигляді:

$$x_{(i+1)r} = \sum_{j=1}^M x_{ij}. \quad (3)$$

Рішення на різних етапах ІІ можуть бути більш складнішими і характеризуватися вектором параметрів  $\bar{x}_{ij}$ . У загальному випадку рішення можуть прийматися і для нестационарних режимів роботи системи, тоді замість (2) застосовується диференціальні рівняння в часткових похідних.

Системне скоординоване рішення щодо управління ІІ на  $N$ -му рівні системи враховує координованість процесу між рівнями системи  $(N-1)$ , допустимість рішення та цілі системи для  $N$ -го рівня:

$$D(x_N) = D(x_{11}) \cdot \dots \cdot D(x_{1M}) \cdot D(x_{21}) \cdot \dots \cdot D(x_{2M}) \cdot \dots \cdot D(x_{(N-1)1}) \cdot D(x_{(N-1)M}) \cap C(x_N) \cap G(x_N). \quad (4)$$

На основі (4) отримано рекурентну процедуру ухвалення рішень для управління ІІ у  $N$ -рівневій ієрархічній системі РМ.

Внаслідок інваріантності опису управління ІІ з (4) випливає, що:

$$D(x_N) = D(x_{11}) \cdot \dots \cdot D(x_{1M}) \cdot D(x_{21}) \cdot \dots \cdot D(x_{2M}) \cdot \dots \cdot D(x_{(i-1)1}) \cdot D(x_{(i-1)M}) \cap C(x_{ij}) \cap G(x_{ij}). \quad (5)$$

Тоді для етапу ІІ на будь-якому рівні системи можна записати:

$$D(x_{(i+1)r}) = D(x_{11}) \cdot \dots \cdot D(x_{1M}) \cdot D(x_{21}) \cdot \dots \cdot D(x_{2M}) \cdot \dots \cdot D(x_{i1}) \cdot D(x_{iM}) \cap C(x_{(i+1)r}) \cap G(x_{(i+1)r}). \quad (6)$$

З виразу (6) випливає, що рішення щодо управління ІІ у системі РМ на  $i$ -му рівні системи залежить тільки від стану системи на цьому рівні та рішень, що приймаються на  $(i+1)$ -му та  $(i-1)$ -му рівнях системи. Таким чином, у рішенні щодо управління ІІ на  $i$ -му рівні,  $j$ -му етапі  $D(x_{ij})$  враховуються всі рішення попередніх етапів, нижчих рівнів системи згідно з виразом (4). Тоді (6) можна записати через нечіткі рішення нижчого рівня таким чином:

$$D(x_{(i+1)r}) = [D(x_{i1}) \cdot \dots \cdot D(x_{iM})] \cap C(x_{(i+1)r}) \cap G(x_{(i+1)r}). \quad (7)$$

Рівняння (7) для ФН даної підмножини ефективних і допустимих функціонально-стійких рішень набуває вигляду:

$$\mu_D(x_{(i+1)r}) = \mu_D(x_{i1}, \dots, x_{iM}) \otimes \mu_G(x_{(i+1)r}) \otimes \mu_C(x_{(i+1)r}), \quad (8)$$

$$\mu_D(x_{i1}, \dots, x_{iM}) = \mu_D(x_{i1}) \otimes \dots \otimes \mu_D(x_{iM}). \quad (9)$$

ФН  $\mu_D(x_{i1}, \dots, x_{iM})$  характеризує згідно з (8) міжрівневу координацію  $K$  ІІ у системі, причому для ухвалення рішення на  $(i+1)$ -му рівні необхідно спроектувати координуюче рішення  $\mu_D(x_{i1}, \dots, x_{iM})$  на вищий рівень  $x_{(i+1)r}$  з урахуванням рівняння (8). Тоді функція  $\mu_D(x_{i1}, \dots, x_{iM})$  може бути подана у вигляді:

$$\mu_K(x_{(i+1)r}) = \mu_D \left( \sum_{j=1}^M x_{ij} \right). \quad (10)$$

Рівняння (10) показує, що координуюче рішення вищого рівня  $x_{(i+1)r}$  виконується через рішення за етапами ІІ на  $i$ -му рівні  $x_{i1}, \dots, x_{iM}$ . З виразу (10) та теорії управління з використанням ФН випливає, що таке рішення буде найбільш ефективним у разі, коли на кожному етапі  $j$  на  $i$ -му рівні прийматимуться оптимальні рішення (коли ФН набуває максимального значення) і при визначенні рішень на нижчих рівнях необхідно максимізувати проєкцію цих рішень на вісь  $x_{(i+1)r}$ , тобто:

$$\mu \left( \sum_{j=1}^M x_{ij} \right) = \max_{\{x_j\}} [\mu_D(x_{i1}) \otimes \dots \otimes \mu_D(x_{iM})]. \quad (11)$$

Математична модель ФС управління ІІ являє собою сукупність математичних співвідношень, що відображають ієрархічний процес знаходження оптимальної послідовності рішень у багаторівневій ієрархічній системі.

Відповідно до методологічних основ забезпечення ФС [8, 9] основними напрямками реалізації управління в системі РМ є розробка відповідних методик за етапами ІІ. Одним з етапів ІІ є етап класифікації ОР.

Із публікацій [13–15], які присвячені класифікації ОР, визначено, що дані щодо групового ОР добуваються різними видами технічних засобів РМ, через його джерела випромінювання (ДРВП) характеризуються низькою лінійною точністю і фактично визначають координати району ймовірного перебування радіоелектронних засобів пунктів управління.

За таких умов та відсутності апріорної вибірки управляти ІІ на етапі класифікації ОР існуючими методами досить важко. Одним із відомих підходів до розв'язання такого типу задач є використання алгоритмів нечіткої кластеризації, які дозволяють класифікувати груповий ОР з відповідним ступенем належності  $\mu$  до певного кластера.

Використанням алгоритмів забезпечується автоматизація класифікації множини ДРВП, які задаються векторами в просторі ознак, отриманих від різних видів технічних засобів РМ, що дозволяє визначити складні об'єкти, які входять у груповий ОР, і відповідно їх кластеризувати. Алгоритми нечіткої кластеризації передбачають, що складні ОР належать всім кластерам з певною належністю. Ступінь належності ДРВП до певного кластера визначається відстанню від ДРВП до відповідних кластерних центрів. Центри кластерів складних ОР і, відповідно, ступені належності до них за характеристиками вхідних даних обчислюються ітераційно.

Отже, метою статті є вдосконалення управління ІІ багаторівневої ієрархічної системи РМ на етапі класифікації ОР за рахунок підвищення його ФС. Підвищення ФС об'єкта дослідження очікується за рахунок:

- використання функціональної надлишковості в системі РМ для забезпечення його безперервності шляхом використання даних від різних видів технічних засобів при заданих показниках якості;
- застосування інструментарію ТНМ для прийняття рішень за рівнями системи в нечітких умовах для класифікації ОР.

Основним показником ефективності ведення ІІ на цьому етапі вважається очікувана кількість класифікованих ОР з необхідною вірогідністю за заданий час [14].

Зокрема, як показник ефективності використовується коефіцієнт класифікації ОР –  $\Psi$ . Вважається, що параметри, за якими здійснюється класифікація ОР, визначаються з певними ймовірностями, тому коефіцієнт класифікації подають як:

$$\Psi = \frac{N \cdot P(N)}{N_0}, \quad (12)$$

де  $N$  – кількість класифікованих ОР;  $N_0$  – загальна кількість ОР;  $P(N)$  – ймовірність класифікації ОР.

Відомий підхід до оцінювання ефективності класифікації групового ОР [3, 10] з огляду на його використання для управління ІП на цьому етапі щодо інформації від різних видів технічних засобів РМ передбачає розрахунок кількості класифікованих ОР, імовірності їх класифікації, а також знання загальної кількості ОР.

Зрозуміло, що в умовах невизначеності обстановки щодо кількості класифікованих ДРВп, точності визначення їх координат, оперативного-тактичних нормативів розміщення ОР від ДРВп, що їх обслуговують, та нечіткими умовами вибору місця розташування ОР на місцевості його застосування досить обмежене для ІП ведення РМ.

Відповідно до запропонованого підходу [1, 12] (11) до управління багаторівневим ІП на етапі класифікації групового ОР висувається вимога, яку можна описати виразом:

$$\mu_{ij} \geq \mu_{ij}^{m^n} | t_{\text{еє}} < t_{\text{саа}}, \quad (13)$$

де  $\mu_{ij}$  – ФН, що характеризує процес управління на етапі класифікації ОР;  $t_{\text{еє}}$ ;  $t_{\text{саа}}$  – час на проведення та заданий час на кластеризацію ОР.

Оскільки класифікація ОР здійснюється за даними, що добуваються різними видами технічних засобів РМ, то (13) доцільно подати виразом:

$$\mu_{ij} = \mu_{ij1} \wedge \mu_{ij2} \wedge \dots \wedge \mu_{ij\lambda}, \quad (14)$$

де  $\lambda$  – загальна кількість видів технічних засобів РМ, інформація від яких використовується для класифікації ОР.

Умова (13) є необхідною, але не достатньою для забезпечення ФС ІП на етапі класифікації ОР. Можливий такий стан системи РМ, за яким виконання умови буде відповідати вимогам до ІП щодо класифікації ОР, але лише до появи нештатної ситуації (НС), оскільки не буде можливості парирувати її наслідки. Тобто система РМ буде працездатною, але не ФС. Показник, що буде враховувати виконання завдання в різних умовах обстановки на етапі класифікації, можна подати таким чином:

$$\mu_{\text{о} \text{н} ij} = \mu_{ij} \wedge \mu_{\text{іа} \text{д} ij}. \quad (15)$$

Для кількісного оцінювання ефективності ведення ІП на етапі класифікації в умовах НС необхідними ще є показники, які характеризують здатність їх парирувати і визначаються наявністю керованої надмірності.

Згідно з [12], ФН парирування наслідків НС визначається як:

$$\mu_{\text{іа} \text{д} ij} = \mu_{\text{ііа} \text{а}} \wedge \mu_{\text{і} \text{о} \text{і} \text{д}}, \quad (16)$$

де  $\mu_{\text{ііа} \text{а}}$ ,  $\mu_{\text{і} \text{о} \text{і} \text{д}}$  – ФН, що характеризують надмірність та можливість управління нею на етапі класифікації ОР.

Для забезпечення цього показника ФС ІП системи РМ на етапі класифікації ОР висувається вимога

$$\mu_{\text{і} \text{о} \text{і} \text{д}} > \mu_{\text{ііа} \text{а}}^{\min}, \quad (17)$$

де  $\mu_{\text{ііа} \text{а}}^{\min}$  – мінімальне допустиме значення імовірності парирування наслідків НС на етапі класифікації ОР.

Критерієм управління на етапі класифікації ОР в умовах НС є виконання нерівності:

$$\forall \Theta \in Q^{\ominus}, \mu_{\text{і} \text{о} \text{і} \text{д}} > \mu_{\text{і} \text{о} \text{і} \text{д}}^{\text{саа}}, \quad (18)$$

де  $\mu_{\text{і} \text{о} \text{і} \text{д}}^{\text{саа}}$  – ФН, що характеризує межу ФС ІП на етапі класифікації ОР;  $\Theta$  – вектор показників стану ІП на етапі класифікації ОР;  $Q^{\ominus}$  – область ФС ІП на етапі класифікації ОР.

Для забезпечення (11) та вимог (13) пропонується застосувати метод нечіткої кластеризації даних на основі принципу самоорганізації. Тоді задачу управління процесом на етапі кластеризації ОР можна сформулювати таким чином. Кінцеву множину ДРВп  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ , що отримана в результаті ведення пошукової роботи щодо групового ОР, де  $n$  – загальна кількість ДРВп, визначає  $P = \{p_1, \dots, p_q\}$  множина ознак від різних видів технічних засобів РМ,  $q$  – загальна кількість ознак.

Для кожного ДРВп виміряно ознаки. Таким чином, кожному з елементів  $a_i \in A$  поставлений у відповідність деякий вектор  $x_i = \{x_1^i, x_2^i, x_q^i\}$ , де  $x_j^i$  – кількісне значення ознаки,  $P_j \in P$  – ля ДРВп  $a_i \in A$ .

Значення ознак мають дійсні кількісні та лінгвістичні значення. Вектори значень ознак подаються у вигляді матриці даних  $D$  розмірності  $n \times q$ , кожний рядок якої дорівнює значенню вектора  $\tilde{O}_i$ . На основі вихідних даних  $D$  необхідно визначити таке нечітке розбиття  $R(A) = \{A_k / A_k \subseteq A\}$  множини  $A$  на задане число  $C$  нечітких кластерів  $A_k, k \in \{2, \dots, C\}$ , яке забезпечує екстремум деякої цільової функції

$f(R(A))$  серед всіх можливих варіантів нечіткого розбиття. Застосовуючи алгоритм самоорганізації, на основі критерію непротиворіччя здійснюється кластеризація ОР. Використання даних від різних видів технічних засобів для кластеризації забезпечує її уточнення, що дозволяє визначити максимум ФН (11), виконання вимоги (13) щодо управління ІП на етапі класифікації ОР у системі РМ.

Апробація застосування запропонованого підходу до управління ІП на етапі класифікації ОР здійснено в середовищі Matlab [15] на основі даних, отриманих під час проведення оперативного заходу у визначеному районі РМ. За результатами пошуку ДРВп, різними видами технічних засобів РМ визначено координати  $n$  джерел випромінювань групового ОР, які зображено на рисунку 1.

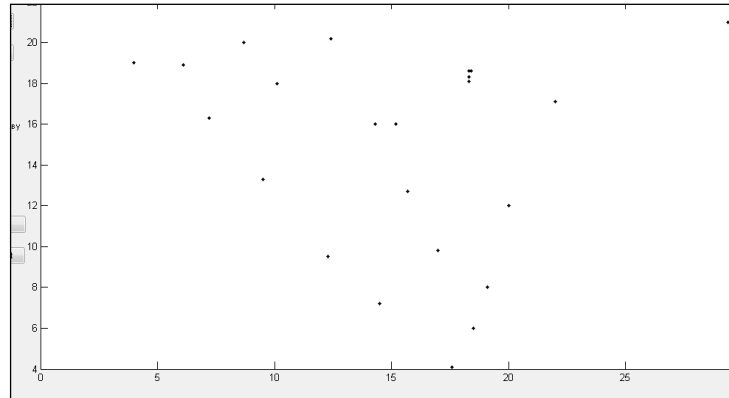


Рис. 1. Вихідні дані щодо місцеположення ДРВп на місцевості

Існуючі оперативно-тактичні нормативи розміщення різних складних ОР, що входять до групового ОР та ДРВп, що їх обслуговують, на місцевості визначають межі нечітких інтервалів, які були покладені в основу кластеризації.

Кількість кластерів, що входять у груповий ОР, визначено шляхом побудови пар близько розміщених об'єктів і розділення даних на підвибірки за критерієм непротиворіччя.

На їх основі розраховано належність кожного ДРВп до певного кластера (рис. 2), з якого випливає, що до групового ОР входить 4 складні ОР або кластери.

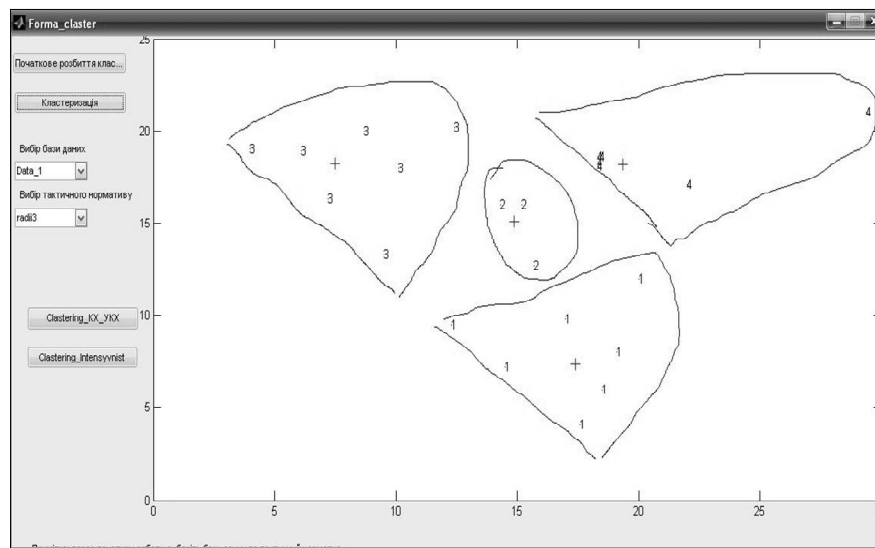


Рис. 2. Результати розпізнавання ОР за допомогою алгоритмів нечіткого кластерного аналізу

**Висновки.** У статті розроблено та досліджено концептуальні основи застосування надлишковості в системі РМ для забезпечення ФС інформаційного процесу на етапі класифікації ОР, шляхом комплексного застосування алгоритмів нечіткого кластерного аналізу даних різних видів технічних засобів, при класифікації групових ОР. Запропонований підхід забезпечує кластеризацію групових ОР за умов: швидкої зміни радіоелектронної обстановки, низької точності визначення координат ДРВп. На

основі проведених розрахунків можна стверджувати, що використання алгоритмів нечіткої кластеризації на етапі класифікації ОР призводить до забезпечення ФС ІІ в умовах невизначеності.

#### Список використаної літератури:

1. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. — М. : Наука, 1981. — 208 с.
2. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : монография / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. — Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2000. — 352 с.
3. Смирнов Ю.А., Основы структурно-системного метода обработки данных : учеб. пособ. / Ю.А. Смирнов, Г.Н. Аксенов. — К. : КВИРТУ ПВО, 1979. — 200 с.
4. Шуренок В.А. Інформаційна система підтримки прийняття рішення оцінювання радіоелектронної обстановки на командних пунктах частин та підрозділів особливого призначення в умовах невизначеності на основі концепції “м’яких обчислень” / В.А. Шуренок, Р.В. Дзюбчук, М.А. Роговец // Труды академії. — К. : Національна Академія оборони України, 2006. — № 71. — С. 50–58.
5. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике / Т.Р. Брахман. — М. : Радио и связь, 1984. — 88 с.
6. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования : монография / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Марченко та ін. — Х. : Факт, 1997. — 240 с.
7. Воронин А.Н. Многокритериальные решения: модели и методы : монография / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, М.В. Куклинский. — К. : НАУ, 2011. — 348 с.
8. Машков В.А. Обеспечение функциональной устойчивости сложных иерархических систем / В.А. Машков, О.А. Машков // Тези доп. І Укр. конф. з автоматичного управління. — К. : АН України, 1994. — Ч. І. — С. 205.
9. Машков О.А. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем / О.А. Машков, О.В. Барабаш // Зб. наук. пр. — К. : АН України, 2003. — Вип. 25. — С. 29–35.
10. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка / Ю.А. Смирнов. — М. : Воениздат, 2001. — 456 с.
11. Zadeh L.A. Fuzzy Algorithms / L.A. Zadeh // Inform. a. Control. — 1965. — Vol. 12, № 2. — Pp. 94–102.
12. Шуренок В.А. Застосування теорій нечітких множин та функціональної стійкості до управління багаторівневим ієрархічним інформаційним процесом / В.А. Шуренок // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. пр. — Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. — Вип. 6. — С. 40–47.
13. Мандаль І.Д. Кластерний аналіз / І.Д. Мандаль. — М. : Статистика, 1988. — С. 176.
14. Журавлев Ю.И. Распознавание. Математические методы. Программная система / Ю.И. Журавлев, В.В. Рязанов, О.В. Сенько. — М. : Фазис, 2006.
15. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. — 304 с.
16. Труды Всероссийской научной конференции «Проектировка научных и инженерных приложений в среде Matlab». — М. : ИПУ РАН, 2002. — 842 с.

ШУРЕНОК Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- обробка результатів експертних оцінок;
- моделювання операцій;
- системи підтримки прийняття рішень;
- дослідження теоретичних, науково-технічних проблем, які пов’язані зі створенням інформаційних систем.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2013