

**МЕТОДИКА КЛАСИФІКАЦІЇ ГРУПОВИХ ОБ'ЄКТІВ  
РАДІОМОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ АЛГОРИТМІВ  
КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ**

*У статті розроблено методику та досліджено використання алгоритмів нечіткого кластерного аналізу для забезпечення функціональної стійкості (ФС) багаторівневого ієрархічного інформаційного процесу (ІП) на етапі класифікації групових об'єктів радіомоніторингу (ОРМ). Зроблено висновок про доцільність застосування надлишковості в системі радіомоніторингу (РМ) для забезпечення ФС ІП.*

**Постановка проблеми.** Ієрархічні системи прийнято розглядати через різні багаторівневі моделі, які відображають їх інформаційну, функціональну і морфологічну структуру. Основною серед них є інформаційна структура, яка забезпечує реалізацію ІП. У ході оцінювання функціонування системи аналізують зміст та алгоритм, що його реалізує, на основі відомих методів [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 його етапі та рівні системи. Це вимагає врахування змін радіоелектронної обстановки (РЕО), наслідків дії різних факторів, аналізу ситуацій, які неможливо точно передбачити [3, 4]. Зростання динамічності РЕО призводить до зменшення часу на прийняття рішення щодо управління ІП. Це, у свою чергу, зумовлює пошук нових напрямків підвищення ефективності управління ІП на основі використання різних видів надмірності системи: функціональної, структурної, програмної.

Управління ІП на етапі класифікації ОРМ – багатокритерійна задача, розв'язання якої ускладнюється необхідністю врахування групових уподобань осіб, що беруть участь у процесі прийняття рішень на всіх його рівнях. Якість її розв'язання не може оцінюватись однією функцією і навіть декількома шкалами. Управління ІП вимагає додаткової непрямой інформації, що дозволяє принаймні порівнювати альтернативи стратегій управління [5–7]. За таких умов найбільш складним етапом ІП стає класифікація ОРМ, яка потребує пошуку нових методів обробки інформації.

**Огляд останніх досліджень та публікацій.** Основною метою управління ІП на цьому етапі є забезпечення виконання завдання класифікації ОРМ упродовж заданого часового інтервалу в різних умовах обстановки, навіть з погіршеними показниками якості [7]. Таким чином, при управлінні ІП виникає протиріччя між вимогами до повноти та якості виконання завдання класифікації в різних умовах обстановки і браком інформації, задіяних сил та засобів.

При цьому перспективним напрямком дослідження [4, 12] багатокритерійної нечіткої оптимізації управління багаторівневим ІП на етапі класифікації залишається застосування положень та інструментарію теорії ФС [8, 9].

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

Відповідно до такого підходу **формулювання завдання** ФС управління ІІ у багаторівневій ієрархічній системі РМ у математичній формі на основі [1, 11, 12] здійснено таким чином.

Основною метою управління ІІ 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 (ЦФ)  $F(x_1^0, \dots, x_N^0)$  при координаційному завданні  $x_{N+1}^0(t)$  вищого  $(N+1)$ -рівня. Управління ІІ здійснюється на кожному його етапі дискретно в моменти часу  $t = \overline{1, T}$ . Менша частина рішень носить характер керівних дій, а більша лише координує роботу підсистем на різних етапах процесу. Призначення ЦФ можна розглядати як засіб координації, проте в цій задачі передбачається, що вони вже вибрані.

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

**Виклад основного матеріалу.** Спроба використання єдиного глобального критерію  $F(\overline{X}_n)$  з наступною його декомпозицією для різних рівнів та етапів ІІ робить задачу оптимізації вкрай складною та ігнорує наявність власних ЦФ. Глобальна ЦФ  $F(\overline{X}_n)$  явним чином не залежить від рішень, які 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 задано свої цілі  $F(\overline{ij})$  на множині рішень, а системна ЦФ  $F(\overline{x}_1, \dots, \overline{x}_n)$  є векторною і залежить як від глобального критерію  $F(\overline{x}_n)$ , так і від ЦФ виконання етапів ІІ на певному рівні  $F(\overline{ij})$ .

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 фіксованою кількістю  $N$  деяке сімейство задач з  $N = 1, 2, 3, \dots$ ;  $x_{N+1}^0 = [0, \infty]$ . У цьому випадку максимум функцій  $F(\overline{x}_1, \dots, \overline{x}_N)$  залежить від  $N$  і  $\overline{x}_i$ . Таким чином, початкова чітка задача фактично розмивається, що зумовлює необхідність нечіткого рішення для кожного рівня системи та етапу ІІ. Це дозволяє застосувати для розв'язання задачі апарат теорії нечітких множин (ТНМ).

Математична модель ФС управління ІП є сукупністю математичних співвідношень, що відображають ієрархічний процес знаходження оптимальної послідовності рішень у багаторівневій ієрархічній системі, яка наведена в [12] і реалізується відповідно до виразу

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

Розв'язання буде найбільш ефективним у разі, якщо на кожному  $j$ -му етапі на  $i$ -му рівні прийматимуться оптимальні рішення (коли функція належності (ФН) набуватиме максимального значення).

Відповідно до методологічних основ забезпечення ФС [8, 9] основними напрямками реалізації управління в системі РМ є розробка відповідних методик застосування різних видів надмірності системи на етапах ІІ. У даній статті розглядається лише його етап – класифікація ОРМ.

Із публікацій [13–15], присвячених класифікації ОРМ, визначено, що дані стосовно групового ОРМ добуваються через його джерела радіовипромінювання (ДРВп) різними видами технічних засобів РМ, які забезпечують ІП на певному рівні системи, характеризуються низькою лінійною точністю і фактично визначають координати району ймовірного перебування радіотехнічних систем, що забезпечують діяльність військ.

За таких умов та за відсутності апріорної вибірки за функціонуванням групового ОРМ управління ІП на етапі його класифікації існуючими методами здійснити досить важко. Одним із відомих підходів до розв'язання такого типу задач є використання алгоритмів нечіткої кластеризації, які дозволяють класифікувати груповий ОРМ з відповідним ступенем належності  $\mu$  до певного кластера [4], визначити складні об'єкти, які входять у груповий ОРМ, і відповідно їх кластеризувати. Алгоритми нечіткої кластеризації передбачають, що складні ОРМ можуть бути віднесені до всіх кластерів з певною належністю. Ступінь належності ДРВп до певного кластера визначається відстанню від них до відповідних кластерних центрів. Центри кластерів складних ОРМ і, відповідно, ступені належності до них за характеристиками вхідних даних обчислюються ітераційно.

Підвищення ФС ІІ системи РМ на етапі класифікації складних об'єктів очікується за рахунок:

використання функціональної надлишковості в системі РМ для забезпечення його безперервності шляхом використання даних від різних видів технічних засобів, що використовуються на різних рівнях системи при заданих показниках якості;

застосування програмної надлишковості та інструментарію ТНМ для прийняття рішень щодо рівнів системи в нечітких умовах для класифікації ОРМ.

Основним показником ефективності ведення ІП на етапі класифікації ОРМ у системі РМ вважається очікувана кількість класифікованих ОРМ з необхідною вірогідністю за заданий час [14].

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

$$\Psi = \frac{N \cdot P(N)}{N_0} \text{ або } = \frac{\sum_{\varepsilon=1}^{N_0} P_i}{N_0}, \quad (2)$$

де  $N$  – кількість класифікованих ОРМ;

$N_0$  – загальна кількість ОРМ;

$P(N)$  – імовірність класифікації ОРМ.

Відомий підхід до оцінювання ефективності ІП на етапі класифікації групового ОРМ [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 ОРМ, імовірність їх класифікації, а також знання загальної кількості ОРМ.

Зрозуміло, що через невизначеність обстановки щодо кількості класифікованих ДРВП, які належать складному ОРМ, точність встановлення їх координат, оперативного-тактичних нормативи розміщення ОРМ від ДРВП, що їх обслуговують, та нечіткі умови вибору місця розташування ОРМ на місцевості його застосування досить обмежене для управління ІП на етапі класифікації ОРМ.

Відповідно до запропонованого підходу [1, 12] (1) до управління багаторівневим ІП на етапі класифікації групового ОРМ у системі РМ висувається вимога, яку можна описати виразом

$$\mu_{ij} \geq \mu_{ij}^{min} \mid t_{кл} < t_{зад}, \quad (3)$$

де  $\mu_{ij}$  – ФН, що характеризує процес управління на етапі класифікації ОРМ;

$t_{кл}; t_{зад}$  – час на проведення та заданий час на класифікацію ОРМ.

Оскільки класифікація ОРМ проводиться за даними, що добуваються різними видами технічних засобів РМ, то (3) доцільно подати як

$$\mu_{ij} = \mu_{ij1} \wedge \mu_{ij2} \wedge \dots \wedge \mu_{ij\lambda}, \quad (4)$$

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

Умова (3) необхідна, але не достатня для забезпечення ФС ІП на етапі класифікації ОРМ. Можливий такий стан системи РМ, за якого виконання умови (3) відповідатиме вимогам до ІП щодо класифікації ОРМ, але лише до появи НС, оскільки не буде можливості парирувати її наслідки. Тобто система РМ буде працездатною, але не ФС. Показник, що враховуватиме виконання завдання в різних умовах обстановки на етапі класифікації, можна подати таким чином:

$$\mu_{ФСij} = \mu_{ij} \wedge \mu_{парij}. \quad (5)$$

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

$$\mu_{\text{паріј}} = \mu_{\text{іјнад}} \wedge \mu_{\text{іјупр}}, \quad (6)$$

де  $\mu_{\text{іјнад}}, \mu_{\text{іјупр}}$  – ФН, що характеризують надмірність та можливість управління надмірністю на етапі класифікації ОРМ.

Для забезпечення цього показника ФС ІІ системи РМ на етапі класифікації ОРМ висувається вимога

$$\mu_{\text{іјнар}} > \mu_{\text{іјнар}}^{\text{min}}, \quad (7)$$

де  $\mu_{\text{іјнар}}^{\text{min}}$  – мінімально допустиме значення ймовірності парирування наслідків НС на етапі класифікації ОРМ.

Критерієм управління на етапі класифікації ОРМ в умовах НС є виконання нерівності

$$\forall \Theta \in Q^{\ominus}, \mu_{\text{іјФС}} > \mu_{\text{іјФС}}^{\text{зад}}, \quad (8)$$

де  $\mu_{\text{іјФС}}^{\text{зад}}$  – ФН, що характеризує межу ФС ІІ на етапі класифікації ОР;

$\Theta$  – вектор показників стану ІІ на етапі класифікації ОРМ;

$Q^{\ominus}$  – область ФС ІІ на етапі класифікації ОРМ.

Для забезпечення (1) та вимог (3) пропонується застосувати метод нечіткої кластеризації даних на основі принципу самоорганізації [18, 19]. Тоді задачу управління ІІ на етапі класифікації ОРМ можна в умовах відсутності апріорної інформації звести до задачі кластеризації та сформулювати таким чином. Нехай отримана кінцева множина ДРВп  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ , за результатами пошукової роботи за груповим ОРМ, де  $n$  – загальна кількість ДРВп, що визначає множину ознак  $P = \{p_1, \dots, p_q\}$ , за якими проводиться класифікація,  $q$  – загальна кількість ознак. Для кожного ДРВп визначені ознаки. Таким чином, кожному з елементів  $a_r \in A$  поставлено у відповідність деякий вектор  $p_r = \{p_1^r, p_2^r, \dots, p_q^r\}$ , де  $r = \overline{1, n}$  – окреме ДРВп з вектором ознак( $q$ );  $p_q^r$  – значення ознак (кількісні або якісні характеристики),  $p_r \in P$  – для ДРВп,  $a_r \in A$ .

Інформація про якісні значення ознак надходить від спеціалістів-експертів і не є результатом об'єктивних спостережень на відміну від кількісної інформації, отриманої в результаті обробки даних від різних засобів РМ. Кількісні ознаки мають дійсні значення і вважаються більш пріоритетними для забезпечення ФС ІІ на етапі кластеризації.

Вектори значень ознак ДРВп подаються у вигляді матриці даних  $G$  розмірності  $n \times q$ , кожний рядок якої дорівнює значенню вектора  $p_r$ .

На основі даних  $G$  необхідно в результаті кластеризації визначити таке нечітке розбиття  $R(A) = \{Ak/Ak \subseteq A\}$  множини  $A$  на задану кількість  $K$  нечітких кластерів  $Ak$ ,

$k \in \{2, \dots, K\}$ , яке забезпечує екстремум деякої ЦФ  $f(R(A))$  серед усіх можливих його варіантів.

Для розв'язання задачі управління ІІ застосовано алгоритм самоорганізації на основі критерію непротиріччя. Використання даних від різних видів технічних засобів на різних рівнях системи дозволяє визначити за його допомогою максимум ФН (1) на цьому етапі, виконання вимоги (3) забезпечує ФС ІІ і уточнення результатів кластеризації при збільшенні обсягів даних вхідної вибірки.

Основою для кластеризації є чинні оперативно-тактичні нормативи розміщення різних складних ОРМ, які входять до групового ОРМ та ДРВц, що їх обслуговують і визначають межі нечітких інтервалів ознак.

Приклад ознак та діапазони значень, що можуть використовуватись при кластеризації групового ОРМ, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

## Межі нечітких інтервалів ознак кластеризації групового ОРМ

Дальність зв'язку в бойових порядках, $p_1$				
	Наступ		Оборона	
	по фронту, $x$ , км	у глиб, $y$ , км	по фронту, $x$ , км	у глиб, $y$ , км
Армійський корпус	80–150	80–100	100–200	120–150
Дивізія	40–70	25–30	100	30–60
Бригада	20–30	10–15	35–45	10–20
Батальйон (дивізіон)	6–12	5	7–12	5–6
Рота (батарея)	2,5–6	1,5–2,5	3–6	2–2,5
Дальність від лінії зіткнення, кордону, $p_2$				
	Відстань, км			
	Наступ		Оборона	
Армійський корпус	120		200	
Дивізія	70		120	
Бригада	40		70	
Батальйон (дивізіон)	15		40	
Рота (батарея)	3		15	

Відповідно до вибраного алгоритму [20] запропоновано методику управління ІІ на етапі кластеризації за кількісними показниками, яка включає такі етапи:

*1-й етап* – нормування отриманих значень ознак (перехід від дійсних значень  $p$  до нормованих  $z$ ) [17] за виразом

$$z = \frac{(p - \bar{p})}{p_{max} - p_{min}}, \quad (9)$$

де  $\bar{p}$  – середнє відхилення  $p$  ;

$p_{max}, p_{min}$  – найбільше і найменше значення  $p$  .

На 2-му етапі визначається матриця належності (близькості)  $W$  , елементами якої є «відстані» (міри схожості ознак) між парами ДРВП. Для розрахунку міри належності застосовано Евклідову метрику як найбільш прийнятну до розрахунку географічних відстаней [14] між ДРВП, яка обчислюється за виразом

$$l_{rv} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (p_{rk} - p_{vk})^2}, \tag{10}$$

де  $v = (\overline{r+1}), n$  – наступне ДРВП, між яким та  $r$ -м здійснюється розрахунок відстані.

Розраховуючи відстані між ДРВП за ознаками для нормованих вхідних даних, отримується масив «відстаней»  $W$  (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця належності відстаней між парами ДРВП

$a$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	...	$a_n$
$a_1$	0	1,491	4,773	1,333	6,128	4,807	3,682	4,955	5,000	...	$a_{n1}$
$a_2$		0	3,350	1,491	4,643	3,333	3,162	4,014	4,534	...	$a_{n2}$
$a_3$			0	4,679	1,667	1,795	5,088	4,738	6,146	...	$a_{n3}$
$a_4$				0	5,754	4,216	2,357	3,727	3,667	...	$a_{n4}$
$a_5$					0	1,700	5,497	4,631	6,263	...	$a_{n5}$
$a_6$						0	3,801	3,073	4,631	...	$a_{n6}$
$a_7$							0	1,667	1,374	...	$a_{n7}$
$a_8$								0	1,700	...	$a_{n8}$
$a_9$									0	...	$a_{n9}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$a_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$	$a_{n4}$	$a_{n5}$	$a_{n6}$	$a_{n7}$	$a_{n8}$	$a_{n9}$	...	$a_{nn}$

3-й етап – побудова диполів (пар близько розташованих ДРВП) для досягнення однозначного вибору непротирічної кластеризації за кількістю кластерів (складних ОРМ). Останні знаходяться на двох підвбірках даних, на яких необхідний їх збіг, тобто здійснюється розділення вибірки  $A$  на підвбірки  $B \cap C$  .

Правило утворення диполів викладено в [17, 19]: за матрицею належності відстаней між парами ДРВП  $W(a_r, a_v)$  будуються диполі. Побудова продовжується, доки всі ДРВП не увійдуть до множин  $B$  і  $C$  , при цьому протилежні вершини (ДРВП) належать до різних множин (табл. 3).

Таблиця 3

Найбільш короткі диполі пар близько розташованих ДРВП

Номер диполя	Номер ДРВП для вибірки <i>B</i>	Відстань	Номер ДРВП для вибірки <i>C</i>
1	1	1,333	4
2	7	1,374	9
3	1	1,491	2
4	2	1,491	4
5	3	1,667	5
6	7	1,667	8
7	5	1,700	6
...	...	...	...
36	5	6,263	9

4-й етап – обчислення масивів відстаней між ДРВП для підвибірок *B* (табл. 4) і *C* (табл. 5).

На 5-му етапі за масивами будуються дерева підбору гіпотез про кількість кластерів (рис. 1) у груповому ОРМ.

Таблиця 4

Масив відстаней між ДРВП для підвибірки *B*

Підмножина <i>B</i>		Номер диполя						
		1	2	3	4	5	6	7
Номер диполя	Номер ДРВП	1	7	1	2	3	7	5
1	1	0	3,682	0	1,491	4,773	3,682	6,128
2	7		0	3,682	3,162	5,088	0	5,497
3	1			0	1,491	4,773	3,682	6,128
4	2				0	3,350	3,162	4,643
5	3					0	5,088	1,667
6	7						0	5,497
7	5							0

Таблиця 5

Масив відстаней між ДРВП для підвибірки *C*

Підмножина <i>C</i>		Номер диполя						
		1	2	3	4	5	6	7
Номер диполя	Номер ДРВП	4	9	2	4	5	8	6
1	4	0	3,667	1,491	1,333	6,128	4,955	4,807
2	9		0	4,534	3,667	6,263	1,700	4,631
3	2			0	1,491	4,643	4,014	3,333
4	4				0	4,643	3,727	4,216
5	5					0	4,631	1,700
6	8						0	3,073
7	6							0



6-й етап – підбір кількості кластерів за критерієм непротириччя, який передбачає відношення результатів двох алгоритмів на двох випадкових підвибірках ( $B$  і  $C$ ) однієї вибірки  $A$ , однакової або майже однакової довжини. Він розраховується за такою формулою:

$$CY_{BC} = \frac{k - \Delta k}{k} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де  $k$  – кількість кластерів, визначена на підвибірках  $B$  і  $C$  множини ДРВП (відмінних між собою і тих, які збігаються);

$\Delta k$  – кількість кластерів, які збігаються.

З рис. 1 випливає, що  $CY_{BC} = 0$  при  $k_B = k_C = 3$ , що визначає непротиричну кластеризацію групового ОРМ на три складні.

Кількість кластерів, для яких  $CY_{BC} = 0$ , визначає правильне прийняття рішення щодо управління ІП на етапі класифікації.

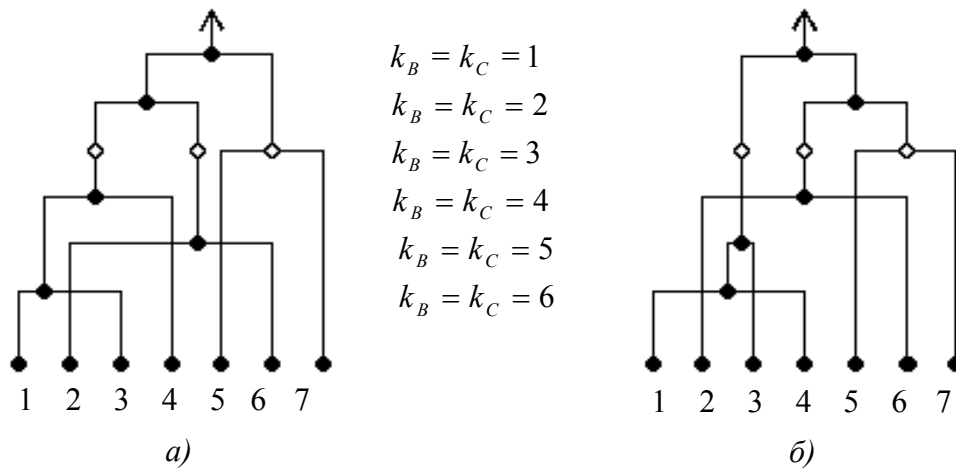


Рис. 1. Ієрархічний перебір гіпотез про кількість кластерів для підвибірок  $B$  (а) та  $C$  (б)

7-й етап – регуляризація. Як вказано в [17], критерію може бути властива неоднозначність: його мінімум може вказувати як на оптимальну, так і на деякі хибні моделі. Для усунення цього недоліку проводиться додаткова перевірка, яка розділяє множину ДРВП на підмножини  $D$  і  $E$ .

Формування підмножин  $D$  і  $E$  здійснюється за правилом [17]: для диполів, які мають непарні номери, ДРВП, що належать  $B$ , відносяться до  $D$ ,  $C$  – відповідно до  $E$ , а для парних номерів – навпаки. Далі здійснюється підбір кількості кластерів (табл. 6) за сумарним критерієм непротириччя [17] за виразом

$$CY_{\Sigma} = \frac{1}{2}(CY_{BC} + CY_{DE}) \rightarrow \min. \quad (12)$$

Таблиця 6

Диполі, отримані на підмножині  $D$  і  $E$

Номер диполя	Номер ДРВп для вибірки $D$	Відстань	Номер ДРВп для вибірки $E$
1	1	1,333	4
2	9	1,374	7
3	1	1,491	2
...	...	...	...
36	9	6,263	5

Таблиця 7

Належність ДРВп до кластера

Номери ДРВп	Диполь	ДРВп, об'єднані в кластер	Номер кластера
2 6	7-9 7-8	7,8,9	I
1 3 4	1-4 1-2 2-4	1,2,4	II
5 7	3-5 5-6	3,5,6	III

Далі робота алгоритму кластеризації ідентична, як для підвбірок  $B$  і  $C$  (6-й етап). На основі результатів 7-го етапу за допомогою диполів визначають належність кожного ДРВп до певного кластера (табл. 7).

Апробацію методики управління ІП на етапі класифікації РМ здійснено в середовищі Matlab [15, 16] на основі даних РМ, отриманих під час проведення оперативного заходу в певному районі. Вихідну вибірку даних за ознаками ДРВп зображено на рис. 2.

Відповідно до запропонованої методики на першому етапі відбувається нормування вихідних даних, вибирається передбачуваний груповий ОРМ для кластеризації. Згідно з ознаками та діапазоном їх значень (табл. 1) задаються межі або середнє значення для різних типів підрозділів, які можуть входити в груповий ОРМ (рис. 2).

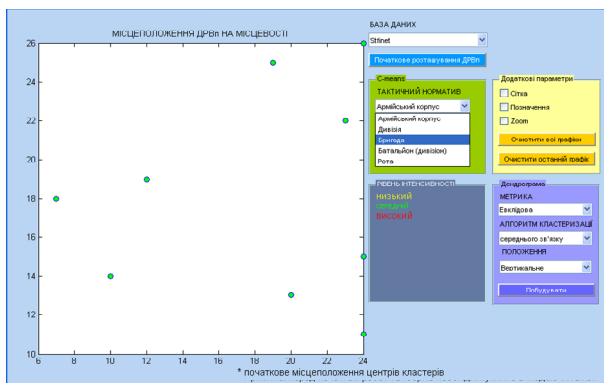


Рис. 2. Вихідні дані щодо місцезоположення ДРВп групового ОРМ та вибір тактичного нормативу (ознаки) для визначення складного ОРМ

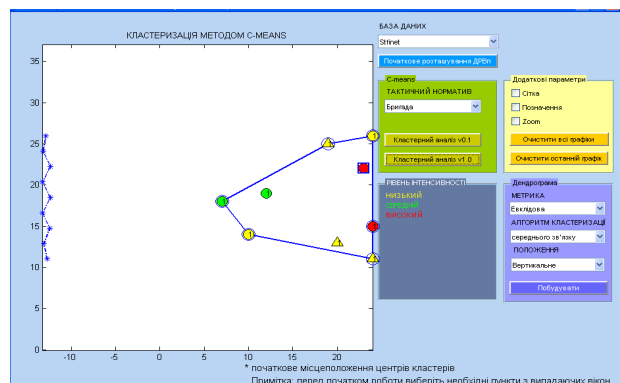
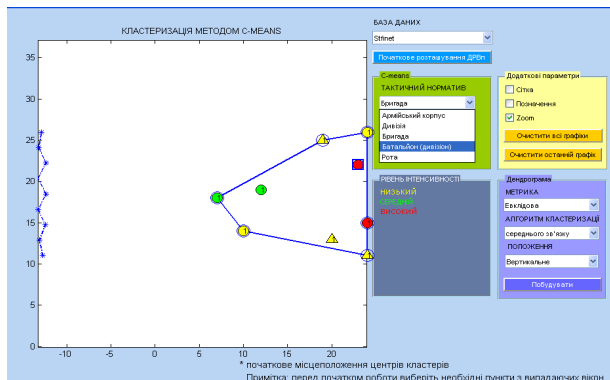


Рис. 3. Результат розв'язання задачі нечіткої субтрактивної кластеризації в системі MatLab

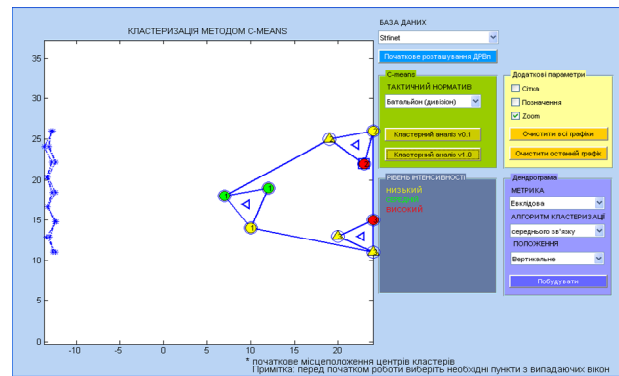
За ознаками (наприклад, дальність зв'язку) для 2–7-го етапів отримано показники кластеризації, зображені на рис. 3. З його аналізу випливає, що в результаті проведення кластеризації групового ОРМ за дальністю зв'язку виявлено одну бригаду з координатами центру (23; 22) (позначена квадратом). Межею цього підрозділу є обвідна лінія. Числа та умовні позначення виду зв'язку кожного ДРВп мають інформативний характер: номер

підрозділу, до якого належить ДРВП; вид зв'язку (кругле позначення – засоби УКХ, трикутне – КХ зв'язку) відповідно.

Для класифікації групового ОРМ проведено подальшу кластеризацію і вибрано тактичні нормативи для батальйону (дивізіону) у визначеному ОРМ (бригаді) (рис. 4).



*Рис. 4. Вибір тактичного нормативу (батальйон) для здійснення подальшої кластеризації*



*Рис. 5. Результати розпізнавання групового ОРМ за допомогою алгоритмів нечіткого кластерного аналізу*

На основі запропонованої методики розраховано належність кожного ДРВП до певного кластера (рис. 5). Відповідно до вихідних даних в груповому ОРМ (бригаді) визначено 3 складні ОРМ (батальйони) або нечіткі кластери (координати центрів позначено трикутником). Як видно з рис. 5, відстань від переднього краю становить близько 20 км, що дозволяє остаточно стверджувати про завершення кластеризації групового ОРМ.

**Висновки.** У статті розроблено методику класифікації групових ОРМ на основі нечітких алгоритмів кластерного аналізу та досліджено концептуальні основи застосування надлишковості в системі РМ для забезпечення ФС ІІІ на етапі класифікації групового ОРМ шляхом комплексного застосування алгоритмів нечіткого кластерного аналізу даних різних видів технічних засобів та рівнів системи при класифікації групових ОРМ. Запропонований підхід забезпечує кластеризацію групових ОРМ в умовах швидкої зміни РЕО, відсутності апріорних даних та невизначеності обстановки. На основі проведених розрахунків можна стверджувати, що використання алгоритмів нечіткої кластеризації на етапі класифікації ОРМ забезпечує ФС ІІІ в умовах невизначеності.

### СПИСОК 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. Роговець // Труды академії. – К. : НАОУ, 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. Харченко, В. В. Осташевский. – 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 доповідей І Української конференції з автоматичного управління. Ч. І. – К. : АН України, 1994. – С. 205.
9. Машков О. А. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем / О. А. Машков, О. В. Барабаш // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць НАН 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 // Information and Control. – 1965. – Vol. 12, № 2. – P. 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. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – Вип. 6. – С. 40–47. – ISSN 2076–1546.
13. Мандаль І. Д. Кластерний аналіз / І. Д. Мандаль. – М. : Статистика, 1988. – С. 296.
14. Журавлев Ю. И. Распознавание. Математические методы. Программная система / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М. : Фазис, 2006. – С. 318.
15. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 1999. – 304 с.
16. Леоненко О. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzy ТЕСН. Секреты мастерства / О. В. Леоненко. – СПб. : БХВ – Петербург, 2002. – С. 736.
17. Ивахненко А. Г. Непараметрические прогнозирующие модули МГУА. Ч. 2. Индикативные системы переборного моделирования, кластеризация распознавания образов / А. Г. Ивахненко, Н. А. Ивахненко // Автоматика. – 1989. – № 2. – С. 3–12.
18. Ивахненко А. Г. Непрерывность и дискретность / А. Г. Ивахненко. – К. : Наукова думка, 1990. – 224 с.
19. Ивахненко А. Г. Объективная кластеризация на основе теории самоорганизации моделей / А. Г. Ивахненко // Автоматика. – 1987. – № 5. – С. 6–15.
20. Системи підтримки прийняття рішень / В. О. Тарасов, Б. М. Герасимов, І. О. Левін, В. О. Корнійчук. – К. : МАКНС, 2007. – 336 с.

**В. А. Шуренок, Ю. А. Заец, В. В. Паньків**

**МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТОВ  
РАДИОМОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ  
КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА**

*В статье разработана методика и исследовано использование алгоритмов нечеткого кластерного анализа для обеспечения функциональной стойкости многоуровневого иерархического информационного процесса на этапе классификации групповых объектов радиомониторинга. Сделан вывод о целесообразности применения избыточности в системе радиомониторинга для обеспечения функциональной стойкости информационного процесса.*

**V. A. Shurenok, Yu. A. Zaets, V. V. Pankiv**

**THE METHOD OF CLASSIFICATION OF THE GROUP OBJECTS OF  
RADIOMONITORING ON THE BASIS OF UNCLEAR ALGORITHMS OF CLUSTER  
ANALYSIS**

*In the article a method is developed and the use of algorithms of unclear cluster analysis is investigational for providing of functional firmness of multilevel hierarchical informative process on the stage of classification of group objects of radiomonitoring. A conclusion is done about expedience of application of surplus in the system of radiomonitoring for providing of functional firmness of informative process.*