

**ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІЄРАРХІЧНОГО
ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ НА ЕТАПІ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ
РАДІОМОНІТОРИНГУ**

У статті розроблено та досліджено концептуальні основи комплексного використання алгоритмів нечіткого кластерного аналізу для забезпечення функціональної стійкості багаторівневого ієрархічного інформаційного процесу на етапі класифікації групових об'єктів радіомоніторингу. Зроблено висновок про доцільність застосування надлишковості в системі радіомоніторингу для забезпечення функціональної стійкості інформаційного процесу.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Ієрархічні системи радіомоніторингу (РМ) прийнято розглядати через різні багаторівневі ієрархічні моделі, які відображають її інформаційну, функціональну і морфологічну структуру. Основною серед них є інформаційна структура, яка забезпечує реалізацію інформаційного процесу (ІП). У ході оцінювання функціонування системи РМ аналізують зміст та алгоритм, що його реалізує, у даному випадку 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 його етапі та рівні системи. Це вимагає врахування змін радіоелектронної обстановки (РЕО), наслідків дії різних факторів, аналізу ситуацій, які неможливо точно передбачити [3, 4]. Це у свою чергу зумовлює 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 на прийняття рішення щодо управління ІП. Управління ІП на етапі класифікації об'єктів радіомоніторингу (ОР) – багатокритерійна задача, 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 оцінюватись однією функцією і навіть декількома шкалами. Управління ІП на цьому етапі вимагає додаткової непрямой інформації, що дозволяє принаймні порівнювати альтернативи стратегій управління [5 – 7]. У таких умовах найбільш складним етапом ІП стає класифікація ОР, яка потребує пошуку нових методів обробки інформації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основною метою управління ІП на цьому етапі є забезпечення виконання завдання класифікації ОР упродовж заданого часового інтервалу в різних умовах обстановки, навіть з погіршеними показниками якості. Таким чином, при управлінні ІП виникає протиріччя між вимогами до повноти й якості

© В. А. Шуренок, 2013

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 функціональної стійкості (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 задачі** 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 $x_{N+1}^0(t)$ вищого $(N+1)$ -рівня. Управління ІП здійснюється дискретно в моменти часу $t = \overline{1, T}$. Частина рішень носить 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 узгодженими з допустимими показниками якості (функціонально стійкими).

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

Застосовуючи метод інваріантного занурення [12] для управління ІП, розглядається замість задачі з чітким рішенням 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 рішення для кожного рівня системи та етапу ІІІ. Це дозволяє застосувати для розв'язання задачі апарат теорії нечітких множин (ТНМ).

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

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

Рішення буде найбільш ефективним у разі, коли на кожному j -му етапі, на i -му рівні прийматимуться оптимальні рішення (коли ФН набуває максимального значення).

Відповідно до методологічних основ забезпечення ФС [8, 9] основними напрямками реалізації управління в системі РМ є розробка відповідних методик за етапами ІІІ. У даній статті розглядається лише 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) та характеризуються низькою лінійною точністю і фактично визначають координати району ймовірного перебування радіоелектронних засобів пунктів управління.

За таких умов та за відсутності апріорної вибірки управління ІІІ на етапі класифікації ОР існуючими методами здійснити 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 μ до певного кластера [4].

Використанням зазначених 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 усім 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.

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 щодо рівнів системи в нечітких умовах для класифікації ОР.

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

Зокрема, як показник ефективності використовується коефіцієнт класифікації ОР Ψ . Вважається, що параметри, за якими здійснюється класифікація ОР, визначаються з певними ймовірностями, тому коефіцієнт класифікації подають як

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

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, ймовірність їх класифікації, а також знання загальної кількості ОР.

Зрозуміло, що через невизначеність обстановки щодо кількості класифікованих ДРВП, точність визначення їх координат, оперативно-тактичні нормативи розміщення ОР від ДРВП, що їх обслуговують, та нечіткі умови вибору місця розташування ОР на місцевості його застосування досить обмежене для ІП ведення РМ.

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

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

де μ_{ij} – ФН, що характеризує процес управління на етапі класифікації ОР;

$t_{кл}; t_{зад}$ – час на проведення та заданий час на кластеризацію ОР.

Оскільки класифікація ОР приводиться за даними, що добуваються різними видами технічних засобів РМ, то (3) доцільно подати виразом

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

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

Умова (3) необхідна, але не достатня для забезпечення ФС ІП на етапі класифікації ОР. Можливий такий стан системи РМ, за яким виконання умови (3) буде відповідати вимогам до ІП щодо класифікації ОР, але лише до появи нештатної ситуації, 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:

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

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 нештатної ситуації визначається як

$$\mu_{\text{парі}} = \mu_{\text{йнад}} \wedge \mu_{\text{іюнр}}, \quad (6)$$

де $\mu_{\text{йнад}}, \mu_{\text{іюнр}}$ – ФН, що характеризують надмірність та можливість управління надмірністю на етапі класифікації ОР.

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

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

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

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

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

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

Θ – вектор показників стану ІІ на етапі класифікації ОР;

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

Для забезпечення (1) та вимог (3) 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 пошукової роботи щодо групового ОР, де n – загальна кількість ДРВП, що визначає $P = \{p_1, \dots, p_q\}$ множину ознак від різних видів технічних засобів РМ, q – загальна кількість ознак.

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

Усі кількісні значення ознак мають дійсні значення. Вектори значень ознак подаються у вигляді матриці даних D розмірності $n \times q$, кожний рядок якої дорівнює значенню вектора X_i .

На основі вихідних даних D необхідно визначити таке нечітке розбиття $R(A) = \{Ak / Ak \subseteq A\}$ множини A на задане число C нечітких кластерів $Ak, k \in \{2, \dots, C\}$, яке забезпечує екстремум деякої цільової функції $f(R(A))$ серед усіх можливих варіантів нечіткого розбиття.

Застосовуючи алгоритм самоорганізації, на основі критерію непротиріччя здійснюється кластеризація ОР. Використання даних від різних видів технічних засобів для кластеризації забезпечує її уточнення, що дозволяє визначити максимум ФН (1), виконання вимоги (3) щодо управління ІІ на етапі класифікації ОР у системі РЕР.

Апробацію запропонованого підходу до управління ІП на етапі класифікації ОР здійснено в середовищі Matlab [15] на основі даних, отриманих під час проведення оперативного заходу в певному районі РМ. За результатами пошуку ДРВп різними видами технічних засобів РМ визначено координати n джерел випромінювань групового ОР, які зображені на рис. 3.

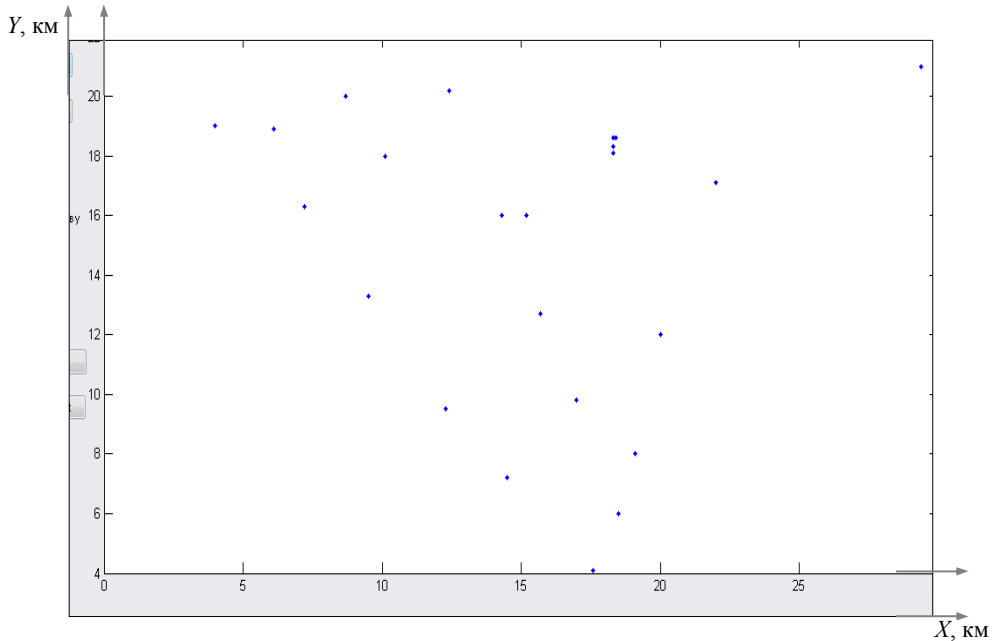


Рис. 3. Вихідні дані щодо місцезположення ДРВп на місцевості

Існуючі оперативно-тактичні нормативи розміщення різних ОР, які 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 непротиріччя.

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

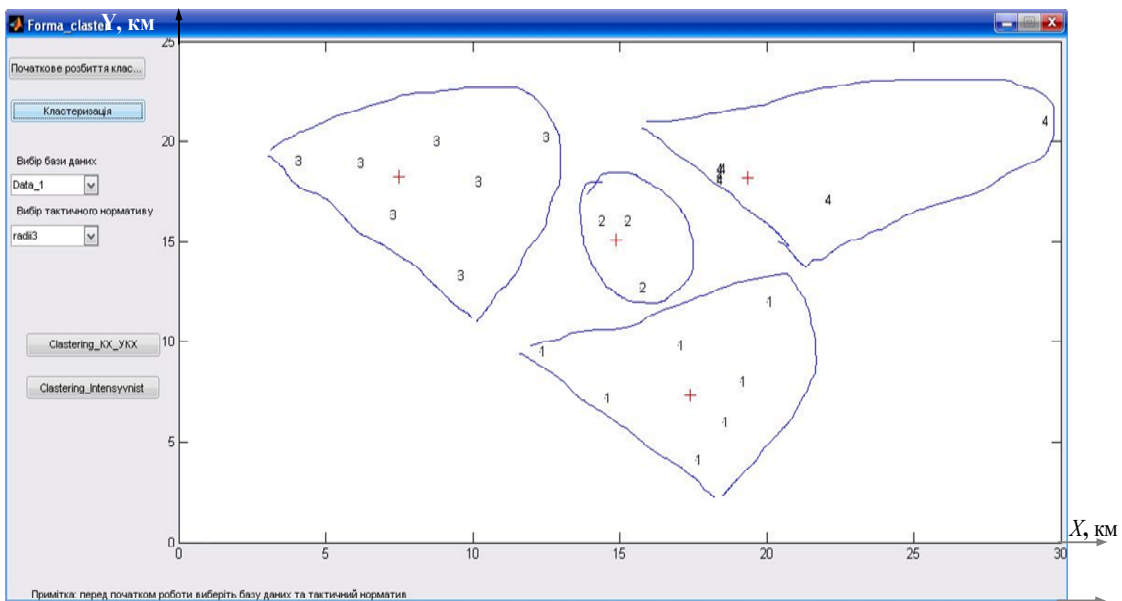


Рис. 4. Результати розпізнавання ОР за допомогою алгоритмів нечіткого кластерного аналізу

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 в умовах швидкої зміни РЕО, 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 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 : Издательство Тюменского государственного университета, 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. : 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. – 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 // Збірник наукових праць. – 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. – 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 TECH. Секреты мастерства / О. В. Леоненко. – СПб. : БХВ – Петербург, 2002. – С. 736.

Подано 17.05.13

В. А. Шуренок

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА НА ЭТАПЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ РАДИОМОНИТОРИНГА

В статье разработаны и исследованы концептуальные основы комплексного использования 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

APPLICATION OF FUZZY CLUSTER ANALYSIS ALGORITHMS FOR PROVIDING OF HIERARCHICAL INFORMATION PROCESS FUNCTIONAL STABILITY AT THE STAGE OF RADIOMONITORING OBJECTS CLASSIFICATION

Conceptual framework of complex application of fuzzy cluster analysis algorithms for providing of hierarchical information process functional stability at the stage of radiomonitoring group objects classification is developed and researched in the article. A conclusion is drawn about expedience of redundancy application in the radiomonitoring system for providing of information process functional stability.