

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ

У статті розглянуто питання практичної реалізації інформаційної системи оцінювання радіоелектронної обстановки на основі використання й обробки експертних знань, застосування математичного апарату багатокритерійної оцінки: методу адитивної згортки за частинними показниками, що визначаються за здобутою інформацією, теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних за ознаками ідентифікації.

Використання сучасних засобів збройної боротьби зумовлює масове застосування радіоелектронних засобів (РЕЗ), які є базовими елементами систем управління військами та зброєю. З метою викриття стану та характеру діяльності об'єктів моніторингу (ОМ) та формування висновків про оперативну обстановку системою радіомоніторингу (РМ) безперервно здійснюється оцінювання радіоелектронної обстановки (РЕО).

Постановка проблеми. Процес оцінювання РЕО і прийняття рішення про обстановку є складним завданням через неповну інформацію про ОМ.

Постійне зростання інтенсивності та динамічності ведення бойових дій вимагає підвищення вимог до ефективності системи РМ. Основними показниками ефективності ведення РМ є достовірність P_{np} (імовірність прийняття правильного про стан РЕО) та своєчасність прийняття рішення T_{np} . Дані показники є взаємозалежними та суперечливими за фізичною сутністю. Тому задача підвищення ефективності системи РМ є багатокритерійною задачею оптимізації.

З погляду оперативно-інформаційної роботи (ОІР) процес оцінювання РЕО полягає у трансформації ознак ідентифікації у сутність діяльності ОМ (джерел радіомоніторингу (ДРМ)). Іншими словами, процес оцінювання РЕО являє собою задачу розпізнавання, яку можна подати у вигляді пошуку відображення

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*) \rightarrow d_j \in D = (d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_m), \quad (1)$$

де X^* – множина ознак ідентифікації, що характеризують діяльність ОМ (ДРМ);

$x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*$ – ознаки ідентифікації ОМ (ДРМ);

i – порядковий номер ознаки ідентифікації ОМ (ДРМ);

D – множина рішень (станів, в яких може перебувати ОМ (ДРМ));

$d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_m$ – варіанти рішень (станів, в яких може перебувати ОМ (ДРМ));

j – порядковий номер варіанта рішення про РЕО.

Труднощі розв'язання задачі оцінювання РЕО обумовлені такими причинами:

1. Для правильного прийняття рішення необхідно враховувати велику кількість ознак ідентифікації.

2. Відсутні аналітичні залежності між ознаками ідентифікації та рішеннями стосовно станів ОМ (ДРМ). Складність побудови таких залежностей визначаються як значною кількістю таких залежностей, так і різномірним їх характером.

Актуальною є проблема створення автоматизованих систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень в інтересах РМ.

Огляд останніх досліджень та публікацій. Проблемі підвищення ефективності ведення РМ присвячено ряд наукових праць [1–4]. Як один з напрямків підвищення ефективності технічних видів моніторингу запропоновано підвищення рівня адекватності рішень, які приймаються аналітичними підрозділами, на основі обробки здобутих відомостей. У [2] запропонована сучасна методологічна база автоматизації процесу добування, накопичення та обробки інформації на основі елементів штучного інтелекту.

У [2–4] запропоновано обґрунтування необхідності та науково-методологічний апарат роботи інформаційної системи оцінювання РЕО на основі концепції «м'яких обчислень».

Метою статті є формулювання пропозицій технічної реалізації інформаційної системи оцінювання (ІСО) РЕО на конкретному прикладі.

Виклад основного матеріалу. Нехай необхідно розробити ІСО РЕО деякого ОМ, який характеризується набором ознак ідентифікації x можливими рішеннями визначення режимів функціонування ДРМ та множиною можливих рішень про стан ОМ. На рис. 1 наведено дерево логічного висновку визначення режиму функціонування системи управління та зв'язку даного ОМ.

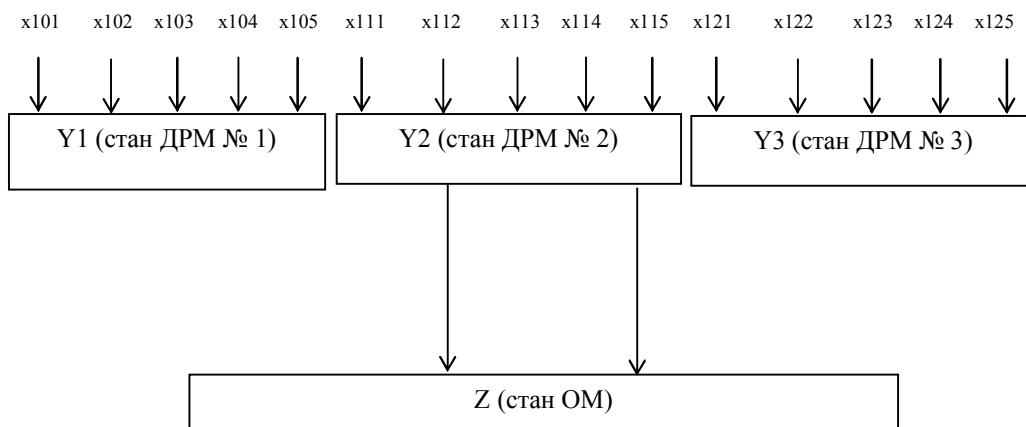


Рис. 1. Дерево логічного висновку визначення режиму функціонування системи управління та зв'язку ОМ

На рис. 1 через $x_{11} - x_{15}$ позначені основні ознаки ідентифікації:

$Y1 \div Y3$ – рішення визначення режимів функціонування ДРМ № 1 – ДРМ № 3, що залежать від ознак $x_{11} - x_{15}$. Можливі режими Y_{1-3} задані множиною $Y_{1-3} \in \{y_{(1-3)_1}, y_{(1-3)_2}, y_{(1-3)_3}\}$, де $y_{(1-3)_1}$ відповідає стану функціонування в режимі № 1; $y_{(1-3)_2}$ – у режимі № 2; $y_{(1-3)_3}$ – у режимі № 3;

$Z \in \{z_1, z_2, z_3\}$ – рішення щодо стану ОМ, яке залежить від проміжних рішень $Y1 \div Y3$. Можливі стани Z задані множиною, де z_1 відповідає стану № 1; z_2 – стану № 2; z_3 – стану № 3.

Основними принципами функціонування ІСО РЕО [2–6] є:

1. Принцип лінгвістичності рішення й ознак ідентифікації, які характеризують стан та характер функціонування ОМ (ДРМ), відповідно до якого рішення про стан ОМ (ДРМ) (вихідна змінна) та викриті ознаки ідентифікації (вхідна змінна) розглядаються як

лінгвістичні з якісними термами. Наприклад, нехай показник $k_{li}(x)$ – організаційний склад джерела, l – номер ДРМ. Даний показник визначений на універсальній множині $U(x_i) = [1 - 30]$ за допомогою сукупності нечітких термів: $\mu(k_{li}(x)) = \langle \text{плановий, позаплановий, додатковий} \rangle$.

Використовуючи поняття функції належності (ФН), кожен із лінгвістичних термів можна формалізувати у вигляді нечіткої множини, яка задана на відповідній універсальній множині.

2. Принцип лінгвістичності оперативно-інформаційних знань, який визначає, що причинно-наслідкові зв'язки між ознаками ідентифікації і станом, в якому функціонує ОМ (ДРМ), повинні бути записаними на звичайній мові, а потім формалізовані у вигляді сукупностей нечітких логічних висловлювань типу «ЯКЩО...ТО...ІНАКШЕ».

Джерелом отримання таких висловлювань (правил, знань) є архівні оперативні матеріали, статистичні дані, адекватність яких підтверджена, або досвід аналітиків.

3. Принцип ієрархічності оперативно-інформаційних знань.

За великої кількості ознак ідентифікації побудова системи висловлювань про причинно-наслідкові знання «ознаки ідентифікації – рішення щодо стану, в якому функціонує ОМ (ДРМ)», стає складним завданням. У зв'язку з цим доцільно провести класифікацію вхідних параметрів і за результатами побудувати дерево логічного висновку, що визначає систему вкладених один в одне висловлювань – знань з меншою розмірністю.

У табл. 1 наведено шкалу якісних термів для розглянутого прикладу оцінки стану ОМ. Для оцінки значень лінгвістичних змінних $y_{10-12_1}, y_{10-12_2}, y_{10-12_3}; z_{3_1}, z_{3_2}, z_{3_3}$ використана єдина шкала якісних термів: ПД – повсякденна діяльність, ЗОБП – заходи оперативної бойової підготовки, ВСБГ – вищі ступені бойової готовності.

Таблиця 1

Шкала якісних термів

Лінгвістична змінна	Значення лінгвістичної змінної	Універсальна множина	Оціночні терми
ДРМ №10			
x_{11} Організаційний склад джерела	Відповідно до моделі функціонування ОМ	0-30	Плановий (П)
			Позаплановий (ПП)
			Додатковий (Д)
x_{12} Час роботи джерела	09:00-16:00	0	Планова (П)
	09:00-23:00	1	Позапланова (ПП)
	Цілодобово	2	Цілодобова (ЦД)
x_{13} Вид позивних, які використовуються	Словесні літерно-цифрові	0	Стандартні (С)
	Нестандартні	1	Нестандартні (НС)
x_{14} Вид передач, які використовуються для організації зв'язку	АОМ/ТФ	0	Стандартні (С)
	АОМ/ТФ + ЧМ 8-250-125 + ФВ 40 + МЕРОД	1	Додаткові (Д)
	АОМ/ТФ + ЧМ 8-250-125 + ФВ 40 + МЕРОД+ нові види передач	2	Нестандартні (НС)

Лінгвістична змінна	Значення лінгвістичної змінної	Універсальна множина	Оціночні терми
x_{15} Інтенсивність радіообміну	До 30	0-2000	Низька (Н)
	До 150		Середня (С)
	До 2000		Висока (В)

Структура дерева логічного висновку відповідає співвідношенням

$$Y_{10-12} = f_{y_{1-14}}(k_{(10-12)1}(x), k_{(10-12)2}(x), k_{(10-12)3}(x), k_{(10-12)4}(x), k_{(10-12)5}(x)), \quad (2)$$

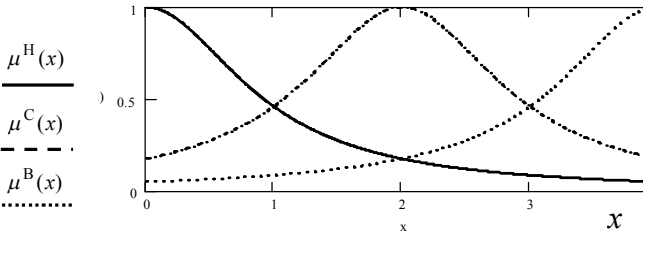
$$Z_3 = f_{z_3}(Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}). \quad (3)$$

Кожен з термів задається відповідною ФН (табл. 2).

Таблиця 2

Зображення ознак ідентифікації у нечіткому вигляді

Ознака ідентифікації	Графік функції належності
Показник $k_{(1-14)1}$ – організаційний склад джерела. Даний показник визначений на універсальній множині $U(x_1) = [1-30]$ за допомогою сукупності нечітких термів: $\mu(k_{(1-14)1}(x)) = \langle \text{плановий, позаплановий, додатковий} \rangle$	
Показник $k_{(1-14)2}$ – час роботи джерела. Даний показник визначений на універсальній множині $U(x_2) = [0;1;2]$ за допомогою сукупності термів: $\mu(k_{(1-14)2}(x)) = \langle \text{плановий, позаплановий, цілодобовий} \rangle$	
Показник $k_{(1-14)3}$ – вид позивних, що використовуються. Показник визначений на універсальній множині $U(x_3) = [0;1]$ за допомогою сукупності термів: $\mu(k_{(1-14)3}(x)) = \langle \text{стандартні, нестандартні} \rangle$	
Показник $k_{(1-14)4}(x)$ – вид передач, що використовується для організації зв'язку. Показник визначений на універсальній множині $U(k_{(1-14)4}(x)) = [0; 1; 2]$ за допомогою сукупності термів: $\mu(k_{(1-14)4}(x)) = \langle \text{стандартний, нестандартний, додатковий} \rangle$	

Ознака ідентифікації	Графік функції належності
<p>Показник $k_{(1-14)5}(x)$ – інтенсивність радіообміну. Показник визначається на універсальній множині $U(k_{(1-14)5}(x))=[0-30]$ за допомогою сукупності термів: $\mu(k_{(1-14)5}(x)) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.</p>	

Під час побудови дерева логічного висновку необхідно намагатися, щоб кількість аргументів (вхідних стрілок) у кожному вузлі дерева відповідала правилу 7 ± 2 [6, 7].

Задача оцінювання РЕО на базі застосування нечіткої логіки повністю відповідає математичній моделі ідентифікації стану ОМ з дискретним висновком [7]. Наприклад, співвідношення для оцінювання достовірності рішення z_1 має вигляд

$$\begin{aligned}
 \mu^{IA}(Z_3) = & \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{IA}(Y_{11}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12}) \cup \\
 & \cup \mu^{IA}(Y_{10}) \cap \mu^{CIAI}(Y_{11}) \cap \mu^{IA}(Y_{12})
 \end{aligned} \tag{4}$$

де $\mu(\dots)$ – відповідні ФН.

Нечіткі логічні рівняння разом з ФН нечітких термів дозволяють приймати рішення щодо оцінки станів ОМ відповідно до результатів оцінки РЕО у такій послідовності:

1. Фіксуються значення ознак ідентифікації $X^* = (x_{11}^*, x_{12}^*, \dots, x_{35}^*)$
2. Відповідно до табл. 2 визначаються значення ФН $\mu^k(x_{li}^*)$ при фіксованих значеннях параметрів x_{li}^* .

3. Використовуючи логічні вирази, розраховуються значення ФН $\mu^{z_j}(x_{11}^*, x_{12}^*, \dots, x_{35}^*)$ при векторі станів $X^* = (x_{11}^*, x_{12}^*, \dots, x_{35}^*)$ для всіх рішень $Z \in \{z_1, z_2, z_3\}$. При цьому логічні операції І (\wedge) та АБО (\vee) над ФН замінюються операціями *min* та *max*:

$$\begin{aligned} \mu(a) \wedge \mu(b) &= \min[\mu(a), \mu(b)], \\ \mu(a) \vee \mu(b) &= \max[\mu(a), \mu(b)]. \end{aligned} \tag{5}$$

4. Обирається рішення μ^{z_j} , для якого

$$\mu^{z_j}(x_{101}^*, x_{102}^*, \dots, x_{125}^*) = \max[\mu^{z_j}(x_{101}^*, x_{102}^*, \dots, x_{125}^*)]. \tag{6}$$

Запропонована структура ІСО РЕО наведена на рис. 2. Блок прийняття рішень на базі нечіткої логіки складається з двох частин: оболонки та саме системи підготовки рішень. Програмне забезпечення (ПЗ) виконано в системі Builder C++ для IBM-сумісних ПЕОМ, що працюють під управлінням операційної системи Windows.

Вхідні змінні можуть бути подані у кількісній та якісній формі. ПЗ дає змогу перетворювати кількісні змінні в якісні та навпаки.

Моделі нечіткої логіки висновку допускають обробку складної ієрархічної структури вхідних змінних, які зображені у вигляді дерева логічного висновку. Вихідна величина (рішення) приймає одне з трьох значень. Інженер-когнітолог разом з експертами будує і заповнює дерево логічного висновку для кожної нової системи.

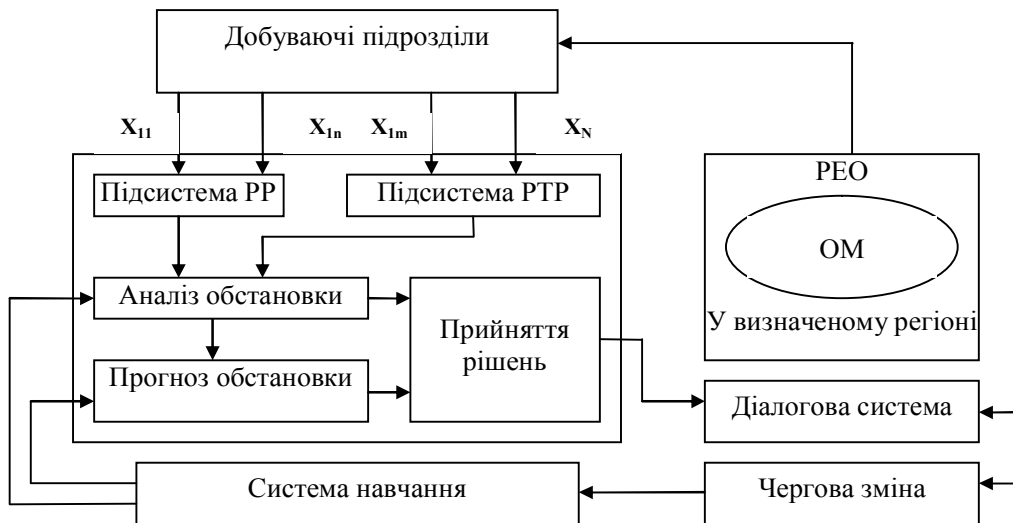


Рис. 2. Структура ІСО РЕО

На рис. 3 наведено основне вікно програмної реалізації ІСО РЕО, де здійснюється введення здобутих даних оператором посту радіомоніторингу, автоматична обробка результатів та їх подання в реальному масштабі часу.

Для зручності користувача передбачено режим «Аналіз», в якому система забезпечує можливість перегляду та документування результатів у форматі табличного процесу Excel. Це дозволяє вводити для різних наборів даних правильні рішення, які отримані із практики. Така інформація із бібліотеки дозволяє контролювати достовірність роботи ІСО РЕО.

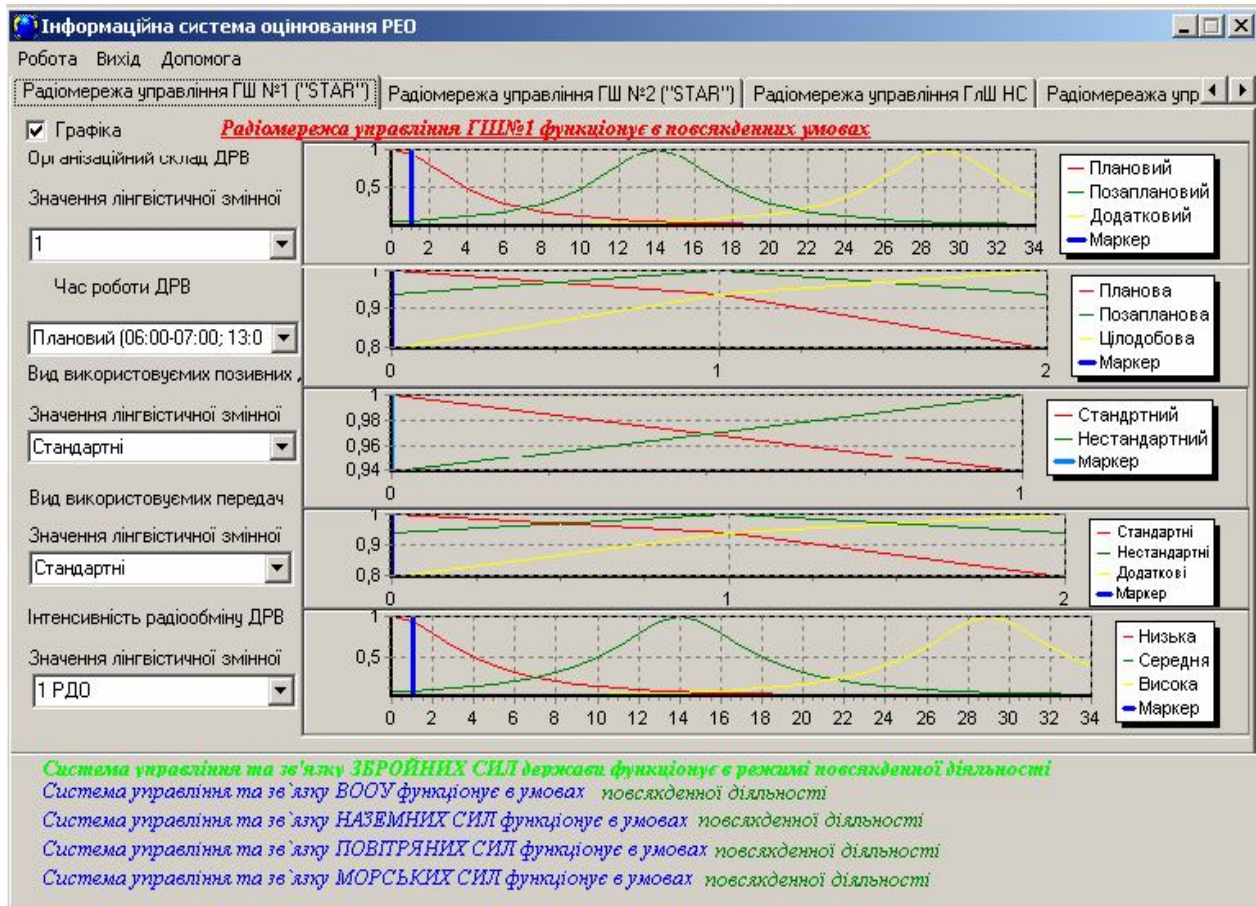


Рис. 3. Основне вікно програми, що забезпечує процес вводу-виводу

Експериментальні дослідження із застосування розробленої ІСО РЕО виявили ряд недоліків, основним з яких є низька достовірність прийнятих системою рішень в умовах, коли режими функціонування ОМ є відмінними від повсякденного. Даний недолік пов'язаний із проблемою відсутності методики настроювання нечіткої бази знань функціонування системи управління та зв'язку складного ОМ в умовах апріорної невизначеності.

Останні дослідження доводять, що в умовах багатокритерійної оптимізації елементи нечіткої логіки дозволяють забезпечити толерантність результату щодо неточності і невизначеності оброблюваних інформаційних масивів, застосовуючи методи генетичних алгоритмів (ГА) [5, 6, 8]. Застосування ГА дозволяє знаходити субоптимальні рішення, а штучні нейронні мережі – перевіряти обмежену кількість знайдених рішень з метою визначення оптимальних з них [6-8]. Однак в умовах обмеження статистичних даних щодо функціонування інтегрованої СУЗ групового ОМ у режимах, відмінних від повсякденного, не визначено порядок та алгоритми застосування генетичних алгоритмів настроювання ІСО РЕО.

З метою підвищення адекватності рішень, які приймаються системою в процесі розробки ПЗ, практично реалізовані наукові результатами викладені у [2-4, 6] (рис. 4). Це дає змогу настроювати інформаційну систему оцінювання РЕО у міру накопичення експериментальних даних, шляхом підбору ваг нечітких правил «ЯКЩО-ТО» у нечітких базах знань, які забезпечують мінімальне розходження оцінки РЕО із застосуванням інформаційної системи та без неї.

Розроблена ICO РЕО дозволяє здійснювати оцінювання поточної РЕО у смузі моніторингу та досліджувати її як функцію від ознак ідентифікації. Отримані результати свідчать, що застосування цієї системи зменшило час, який витрачається на оцінювання РЕО на 40% при заданій достовірності прийнятих рішень.

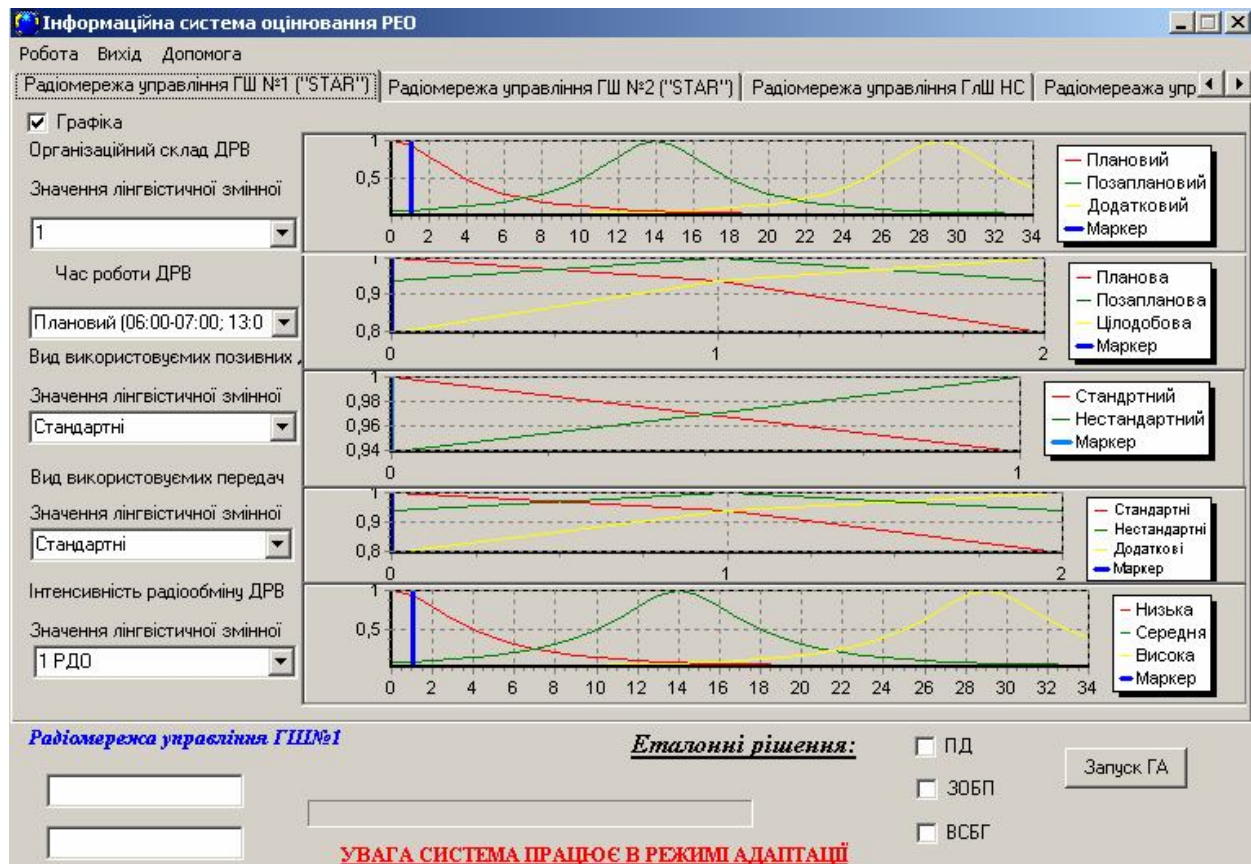


Рис. 4. Вигляд основного вікна ICO РЕО в режимі адаптації

Висновок. На основі розробленого науково-методичного апарату реалізовано ICO РЕО, що здатна забезпечити процес прийняття рішення як у звичайних умовах, так і в умовах невизначеності. Застосування ICO РЕО дозволяє, не змінюючи загальний алгоритм прийняття рішення, зменшити час необхідний для оцінювання не менше ніж на 40%. При цьому, за рахунок узагальнення експертних даних та автоматизації процесу оцінювання вдалося підвищити достовірність рішень до 89%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнов Ю. А. Радиотехническая разведка / Ю. А. Смирнов. – М. : Воениздат, 2001. – 456 с.
2. 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 // Труди академії. – К. : НАОУ, 2006. – № 71. – С. 50–58.
3. Радковець Ю. І. Методика обґрунтування необхідної кількості ознак ідентифікації для гарантованої ідентифікації стану об'єкта моніторингу / Ю. І. Радковець, 208

- В. А. Шуренок, М. А. Роговец // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Житомир, 2007. – № 12. – С. 84–88.
4. Шуренок В. А. Методика визначення важливості джерел радіомоніторингу / В. А. Шуренок, Д. М. Михайлов, М. А. Роговец, Ю. І. Запорожченко // Труды академії. – К. : НАОУ, 2007. – № 5(78). – С. 177–185.
5. Герасимов Б. М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б. М. Герасимов, В. А. Тарасов, І. В. Токарев // Наукова думка. – К. – 1993. – 181 с.
6. Герасимов Б. М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б. М. Герасимов, М. М. Дивизинюк, І. Ю. Субач – Севастополь : СНИЯЭиП. – 320 с.
7. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
8. Шуренок В. А. Методика застосування генетичних алгоритмів для настроювання СППР оцінювання РЕО / В. А. Шуренок, М. А. Роговец., Ю. І. Запорожченко // Труды академії. – К. : НАОУ. 2008. – С. 234–246.

Подано 24.04.08

М. А. Роговец

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ

В статье рассмотрены вопросы практической реализации информационной системы оценивания радиоэлектронной обстановки на основе использования и обработки экспертных знаний, применения математического аппарата многокритериальной оценки: метода аддитивной свертки по частным показателям, которые определяются по информации, добытой подразделениями мониторинга, теории нечетких множеств и лингвистических переменных по признакам идентификации.

M. A. Rogovets

THE INFORMATION SYSTEM OF THE ESTIMATION RADIO-ELECTRONIC SITUATION

In article is considered question to practical realization of the information system of the estimation radio-electronic situation on base of the use and processing the expertises, using the mathematical device much standards of judgement: method folding accompaniments on partial factor, which are defined on information got by subdivisions of the monitoring, theories of the fuzzy sets and linguistical variable on sign of the identifications.