

УДК 351.746.1

Сергій КОСІК,
*Південне регіональне управління
Державної прикордонної служби України, м. Одеса*

РОЗПОДІЛ СИЛ І ЗАСОБІВ РЕГІОНАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В НЕЧІТКИХ УМОВАХ

Розглядаються питання охорони та захисту державного кордону на українсько-молдовській ділянці відповідальності Південного регіонального управління Державної прикордонної служби України. Виявлено внутрішні та зовнішні чинники й умови, що впливають на безпеку державного кордону. Здійснено розподіл сил і засобів регіонального управління під час побудови охорони державного кордону на основі методів багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень у нечітких умовах.

Ключові слова: багатокритеріальність, метод, нечіткість, ділянка відповідальності, державний кордон.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Наприкінці 1993 року були розроблені державні підходи до розбудови державного кордону (далі – ДК), які відображені в Комплексній програмі, затвердженій Президентом України [1]. При цьому суперечності між загрозами з одного боку, та економічними можливостями держави – з іншого, розв'язувалися поетапно. Саме тому в той період основні сили і ресур-

си були спрямовані на розбудову українсько-молдовського кордону. На прийняття такого рішення вплинув придністровський конфлікт і, відповідно, загрози, які виникли на цій ділянці [2].

Окупація Російською Федерацією Кримської Автономної Республіки, частини територій Донецької та Луганської областей значно загострила ситуацію на українсько-молдовському кордоні. Наявність військових формувань Російської Федерації на території невизнаної Придністровської Молдавської Республіки (далі – ПМР) призводить до загрози безпеці України на південному напрямку.

У науковому плані постає завдання багатокритеріального вибору – з одного боку, необхідно продовжувати посилювати правоохоронну складову охорони ДК, з іншого – існує військова загроза, на яку необхідно адекватно реагувати. Усе це відбувається в умовах нечіткості щодо оцінки обстановки, прогнозування її розвитку тощо.

Усе це вказує на значну актуальність питань охорони та захисту державного кордону на українсько-молдовській ділянці відповідальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Дослідженню питань щодо розподілу сил та засобів під час охорони ДК присвячено праці О. В. Боровика, І. С. Катеринчука, В. А. Кириленка та ін. Водночас не враховується фактор військової загрози та умов нечіткості, які характерні саме для українсько-молдовської ділянки відповідальності.

Метою статті є подання підходів щодо розподілу сил і засобів Південного регіонального управління під час побудови охорони державного кордону на основі методів багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень у нечітких умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час вирішення завдання з планування охорони ДК виникають ситуації, коли або відсутні необхідні джерела первинної інформації, або існуючі джерела не забезпечують отримання необхідної інформації в темпі з процесом, або в наявності є лише якісна інформація про об'єкт управління. У таких ситуаціях необхідні підходи, які дозволяють на основі інформа-

цінно-аналітичного опрацювання (комп'ютерної обробки) якісної або нечіткої інформації про об'єкт і цілі управління отримати необхідну інформацію для управління.

Розглянемо задачу багатокритеріальної оптимізації в постановці, коли цілі, альтернативи (дії) і результати задані нечітко, але для якої відносини переваги, тобто функція корисності, задані чітко.

Для вирішення поставленого завдання оптимізації потрібно визначити і максимізувати функцію корисності розглянутих альтернатив:

$$\max\{U(z_1, z_2, \dots, z_k)\}, \quad (1)$$

де $z_i = f_i(x \in S)$, $i = 1, \dots, k$, – складові вектора критеріїв, S – множина допустимих рішень.

Основними труднощами, що виникають під час вирішення поставленого завдання, є проблема отримання математичного опису функції корисності U [3].

У теорії корисності функція корисності U розглядається і розраховується як імовірнісна величина, однак, для багатьох складних неформалізованих задач прийняття рішень оцінити багатовимірний розподіл ймовірності дуже складно і навіть нерозв'язно.

У даній статті функція корисності розглядається не як імовірнісна, а як нечітка величина, причому функції належності нечітких множин розглядаються як суб'єктивні виміри осіб, які приймають рішення (далі – ОПР).

Багатокритеріальне завдання оптимізації можна представити у вигляді ієрархічної декомпозиції, де множину цілей позначено G , а множину альтернатив – X .

Якщо цілі видаються занадто складними поняттями, їх можна представити у вигляді ієрархії більш простих понять.

Елементи ієрархії, тобто мети і альтернативи, є нечіткими множинами, що позначаються G_j , $j = 1, \dots, m$, де m – кількість цілей і X_l , де $l = 1, \dots, l$, l – кількість альтернатив.

Метод аналізу ієрархій (далі – МАІ), будучи методом розв'язання багатокритеріальних задач у складній обстановці з ієрархічними структурами, що включають неформалізовані елементи [4], викорис-

товується в роботі як непрямий метод визначення функцій приналежності нечітких множин [5].

Нехай потрібно визначити функцію належності $\mu_D(x)$ нечіткої множини D , що визначає деяке якісне поняття. Для цього ОПР пропонується порівняти кількісні елементи універсальної множини X між собою за ступенем їх відповідності цьому якісному поняттю і заповнити матрицю попарних порівнянь $A = \{a_{ij}\}$, елементи якої a_{ij} є оцінками ступеня належності елементів $a_i \in X$ нечіткій множині D . у порівнянні з елементами $a_j \in X$. Функція належності знаходиться як власний вектор ω матриці A , відповідний її максимальному власному значенню λ_{\max} , $A\omega = \lambda_{\max} \omega$.

Під час аналізу складних властивостей, які подаються у вигляді ієрархічної системи, описаний підхід використовується у порівнянні складових властивості на ступінь відповідності цій складній властивості. Для ієрархічного випадку Т. Саати доведена така теорема [4]:

Теорема. Припустимо, що H – повна ієрархія з елементом b на верхньому 0-му рівні та h рівнями. Припустимо, що B_n – матриця пріоритетів n -го рівня, $n = 1, \dots, h$. Якщо W^n – вектор пріоритетів p -го рівня щодо деякого елемента z в $(p-1)$ -му рівні, то вектор пріоритетів W^q -го рівня ($p < q$) щодо z визначається як

$$W = Bq * Bq-1 . . . Bp+1 * W^n. \quad (2)$$

Отже, вектор пріоритетів найнижчого рівня щодо елемента b визначається таким виразом:

$$W = B_h * B_{h-1} . . . B_2 * W^n. \quad (3)$$

Рішення (2) не може вважатися рішенням завдання (1), тобто отримане ранжирування не може розглядатися як функція корисності. Крім того, пропозиції в рішення, що вимагають формалізації якісних характеристик кількісних та якісних величин, не можуть вирішуватися методом аналізу ієрархій у його класичній постановці.

У [6] доведено справедливість даної теореми для випадку, коли не вся ієрархія розглядається як нечітка множина з його універсальною

множиною на нижньому рівні, а нечіткими множинами є елементи ієрархії.

Функцію корисності альтернатив можна розглядати як функцію належності глобальної мети на множині альтернатив, причому функція належності розглядається як суб'єктивна, а не як імовірнісна величина. Функції належності нечітких множин, що формалізують кожен критерій (складний, що представляється у вигляді ієрархії, або простий), визначаються на множині альтернатив, при цьому множина альтернатив є базовою для нечітких множин критеріїв. На кожному рівні ми маємо різні чіткі впорядковані множини, які складаються з елементів, що є нечіткими (якісними) і визначаються кожна своєю функцією належності. Елементи кожного рівня є нечіткими підмножинами чітко впорядкованої множини і визначаються саме в цьому сенсі.

Припустимо, що ієрархія є сукупністю рівнів $L_n, n=1, \dots, h$.

Будь-який n -й рівень ієрархії є сукупністю окремих елементів l_k^j , де $j = 1, \dots, m$, m – кількість елементів даного рівня.

Набір елементів l_n^j є “нечіткими властивостями” для елементів нижнього $n+1$ -го рівня, тобто l_n^j – це набір нечітких множин, універсальними множинами цих нечітких множин є множини елементів нижніх рівнів.

Розпишемо елементи кожного рівня:

$$\text{Рівень } L_{n-1} : l_{n-1}^1 \ l_{n-1}^2 \ l_{n-1}^3 \ \dots \ l_{n-1}^{m(n-1)}$$

$$\text{Рівень } L_n : l_n^1 \ l_n^2 \ l_n^3 \ \dots \ l_n^{m(n)}$$

$$\text{Рівень } L_{n+1} : l_{n+1}^1 \ l_{n+1}^2 \ l_{n+1}^3 \ \dots \ l_{n+1}^{m(n+1)}$$

Зв'язок сусідніх рівнів ієрархії визначається матрицею власних векторів, тобто матрицею пріоритетів. B_{n+1} – матриця власних векторів рівня L_{n+1} , $m(n+1)$ – число елементів рівня $n+1$, $m(n)$ – число елементів рівня n .

Ступінь належності елемента l_n^1 нечіткій множині, що є елементом l_{n+1}^1

$$\mu_{l_{n+1}}^{(1)} = \omega_{11} = \mu_{l_{n+1}}^{(1)} \quad (4)$$

Функція належності нечіткої множини, що є елементом l_{n+1}^1 ,

$$\mu_{l_{n+1}}^{(L_n)} = [\omega_{11} \ \omega_{12} \ \omega_{13} \ \dots \ \omega_{1m(n)}]^T \quad (5)$$

Функція належності 1-го елемента $n+1$ рівня визначена на базовій множині рівня L_n (стрічка матриці).

Функція належності нечіткої множини, що є елементом l_{n+1}^1 ,

$$\mu_{l_{n+1}}^{(L_{n+1})} = [\omega_{11} \ \omega_{21} \ \omega_{31} \ \dots \ \omega_{m(n+1)1}]^T \quad (6)$$

функція належності 1-го елемента n -го рівня, визначена на базовій множині рівня L_{n+1} (стовпець).

Очевидно, що матриця B_{n+1} задає бінарне нечітке відношення між нечіткими множинами, що належать рівням n і $n+1$:

$$B_{n+1} \in R_{n+1,n} : L_{n+1} \circ L_n \rightarrow [0, 1]. \quad (7)$$

Задача аналізу ієрархій зводиться до знаходження $\mu_{l_{n+1}}^{(1)}(L_{n+1})$, тобто до знаходження функції належності нечіткої множини елемента 1-го рівня ієрархії, що визначається на базовій множині рівня $n+1$. Нехай рівень L_1 складається з одного елемента і в ієрархії $n+1$ рівнів.

Необхідно знайти відношення між нечіткою множиною Π верхнього рівня і нечіткими множинами, що належать рівню L_{n+1}

$$R(L_{n+1}, L_1) : L_{n+1} \circ L_1 \rightarrow [0, 1]. \quad (8)$$

B_{n+1} є матриця нечітких відносин нечітких множин рівнів L_n і L_{n+1} :

$$B_{n+1} = R(L_{n+1}, L_n). \quad (9)$$

Функція належності $\mu_{l_{n+1}}^{(1)}(L_{n+1})$ визначається як композиція нечітких відносин в такий спосіб:

$$R(L_{n+1}) = \mu_{l_{n+1}}^{(1)}(L_{n+1}) = R(L_{n+1}, L_n) \circ \mu_{l_{n+1}}^{(1)}(L_n). \quad (10)$$

Інакше цю композицію можна записати в такий спосіб

$$\mathcal{M}_1(L_{n+1}) = \bigcup_{i=1}^{m_n} \mathcal{M}_{n+1}^{(i)}(L_n) \bigcap_{k=1}^n \mathcal{M}_{n-1}^{(k)}(L_n), \quad (11)$$

де $i = 1 \dots m_n$ – кількість елементів n -го рівня, $j = 1 \dots m_{n+1}$ – кількість елементів $n+1$ -го рівня.

Цей запис еквівалентний виразу (2).

Отже, доведена справедливість розгляду глобального вектора пріоритетів альтернатив (вектора пріоритетів) останнього рівня як функції належності глобальної мети рішення задачі, яка, у свою чергу, може розглядатися як функція корисності під час вирішення багатокритеріальних задач у нечіткій постановці.

Дане твердження дозволяє застосовувати МАІ для вирішення таких багатокритеріальних задач розподілу сил та засобів у нечітких умовах, де потрібна формалізація якісних значень вихідних величин на кількісних шкалах.

Як імплікація використовується операція мінімуму, якщо правило формулюється у вигляді якщо–щось, або операція максимуму, якщо використовується правило якщо–інакше. Як правило виведення використовується композиційне правило, при якому композиція розраховується як максимальна.

Для вибору чіткого значення функції управління застосовується метод ваг, за яким як єдине значення для управління вибирається значення, яке має максимальну функцію належності.

Отже, МАІ може ефективно використовуватися не тільки для прийняття рішень у неформалізованих сферах і вирішення завдань ранжирування кінцевої множини складних об'єктів, представлених у вигляді ієрархічної структури, а й для прийняття рішень в охороні ДК, де потрібна формалізація всіх нечітких понять за допомогою нечітких множин. Це відкриває додаткові можливості для впровадження нових підходів, наприклад, для заміни операторів під час управління охороною ДК, поліпшення якості управління, дозволить будувати інтелектуальні системи, здатні приймати рішення і адекватно реагувати на зміни в обстановці на основі знань людини.

Висновок. Розроблено модель управління, тобто модель розподілу сил та засобів, яка представлена у вигляді ієрархічної структури, елементами якої є вхідні лінгвістичні змінні, що впливають на процес, лінгвістичні правила управління, в яких задіяні ці змінні, і якісні значення цих лінгвістичних змінних.

Модель дозволяє оцінити значимість вхідних лінгвістичних змінних, важливість і достовірність лінгвістичних правил управління, вона виробляє управляючий вплив з урахуванням різних параметрів і діє адекватно поточній ситуації.

Напрямок подальших досліджень слід вважати розробку методики та програмного забезпечення для розробки моделі розподілу сил та засобів щодо управління регіональним управлінням, у яких основна частина інформації, необхідна для побудови моделі, є якісною або нечіткою. Інформація представлена у вигляді правил, виражених мовою якісних природних понять і лінгвістичними правилами управління.

Список використаної літератури

1. Комплексна програма розбудови державного кордону України : Указ Президента України від 16 грудня 1993 р. № 596/1993. – К., 1993.
2. Про заходи щодо охорони державного кордону України з Республікою Молдова : Указ Президента України від 17 березня 1992 р. № 158/1992. – К., 1992.
3. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, расчет и приложения / Р. Штойер; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1992.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1993.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976.
6. Деменков Н. П. Решение многокритериальных задач оптимизации и принятия решений в нечеткой постановке [Електронний ресурс] / Н. П. Деменков // Режим доступу: <http://inftech.webservis.ru/it/conference/scm/2000/session1/demenkov.htm>.

Рецензент – доктор технічних наук, професор Андрощук О. С.

Стаття надійшла до редакції 27.05.2016

Kosik S. Распределение сил и средств регионального управления на основе метода многокритериальной оптимизации в нечетких условиях

Рассматриваются вопросы охраны и защиты государственной границы на украинско-молдавском участке ответственности Южного регионального управления Государственной пограничной службы Украины. Выявлено внутренние и внешние факторы и условия, влияющие на безопасность государственной границы. Осуществлено распределение сил и средств регионального управления во время построения охраны государственной границы на основе методов многокритериальной оптимизации в нечетких условиях.

Ключевые слова: *многокритериальность, метод, нечеткость, участок ответственности, государственная граница.*

Kosik S. Distribution capabilities regional management on the basis of multi-criteria optimization in fuzzy conditions

The issues of security and protection of the state border on the Ukrainian-Moldavian responsibility Southern Regional Directorate of State Border Service of Ukraine. Discovered internal and external factors and conditions that affect the security of the state border. Done distribution capabilities of regional management in the construction of the state border on the basis of multi-objective optimization methods and decision-making in fuzzy terms.

Management model, that model of distribution capabilities presented in a hierarchical structure, elements of which input linguistic variables influencing the process, the linguistic rules of governance, involving these variables and qualitative importance of linguistic variables.

Model to evaluate the significance of input linguistic variables, the importance and reliability of linguistic rules management, it produces control actions on the basis of various parameters and acts appropriately to the current situation.

The method of analysis of hierarchies can be used effectively not only for decision-making in informal areas and solve problems ranging finite set of complex objects presented in a hierarchical structure, but also for decision-

making of the state border, which require formalization of fuzzy concepts using fuzzy sets. This opens up additional opportunities for implementing new approaches, such as to replace operators in the management of state borders, improving the quality of management, will build intelligent systems that can make decisions and respond adequately to changes in the situation on the basis of human knowledge.

Keywords: *many kryterialnist method, blurred, area of responsibility, the state border.*