

УДК 621.331.5:537.533.3:355.457.1

Б. В. ЄВДОХОВИЧ, ад'юнкт кафедри інженерного та технічного забезпечення охорони державного кордону Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ЩОДО ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ ЗРАЗКІВ ТЕПЛОВІЗОРІВ ДЛЯ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

У статті обґрунтовано вибір науково-методичного інструментального засобу для вирішення науково-прикладної задачі вибору зразків тепловізійної техніки, яка використовується для забезпечення надійної охорони державного кордону. Результати апробації методу розпізнання образів для порівняльної оцінки та вибору зразків тепловізорів підтверджують його працездатність та достовірність результатів, що отримуються.

Ключові слова: обґрунтування, тепловізійна техніка, прийняття рішення, охорона державного кордону.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних умовах, коли на світовому ринку пропонується широка номенклатура нових зразків тепловізійної техніки, виникає необхідність у вирішенні наукової задачі щодо розробки методичного підходу для оцінки та вибору їх кращих зразків за критерієм “ефективність (якість) – вартість” [1]. Результати розв’язання такої задачі дають

зможу забезпечити оптимальний вибір зразків тепловізійної техніки з тактико-технічними показниками, які потенційно задовольняють вимоги (які ставляться перед тепловізійною технікою) для ефективного виконання поставлених завдань на конкретній ділянці державного кордону і уникнути необґрунтованих ресурсних витрат.

Умови сьогодення та перспективи розвитку загроз і ризиків на державному кордоні України потребують постійного підвищення вимог до математичного апарату, який застосовується для обґрунтування вибору складних технічних систем спеціального призначення (СТССП). Це пов'язано з високою вартістю сучасних проєктів модернізації СТССП, значними витратами ресурсів на їх виконання (наприклад, часовими та фінансовими), високим ризиком прийняття помилкових рішень і серйозними наслідками від них при розробці й управлінні проєктами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Аналіз останніх публікацій свідчить, що для вирішення задач порівняльної оцінки та вибору СТССП, які застосовуються на виробництві, транспорті, у військовій сфері, при охороні державного кордону тощо, найчастіше використовується метод аналізу ієрархій (МАІ) [1, 2]. Разом із тим, застосування МАІ має низку недоліків, серед яких: складність, трудомісткість розрахунків, суб'єктивність визначення вагомих коефіцієнтів для показників, що порівнюються.

Для усунення недоліків МАІ запропоновано застосувати метод розпізнання образів (МРО) [3], який ґрунтується на формуванні моделі порівняння альтернатив на образах класів ідеалу ("ідеальна" альтернатива).

Метою статті є проведення аналізу існуючих та обґрунтування запропонованого методичного підходу щодо оцінки та вибору зразків тепловізорів для охорони кордону.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою визначення ступеня наближення кожної альтернативи до виділених класів застосовується метод стохастичної апроксимації. Для вирішення задач порівняльної оцінки та вибору СТССП в системі підтримки

та прийняття рішень (СППР) застосований апарат штучних нейронних мереж (ШНМ) [4, 5], який має високі потенційні можливості для використання в теорії прийняття рішень.

Апарат ШНМ базується на формуванні зв'язків між нейронами, які виявляються у процесі аналізу залежності між вхідними та вихідними даними. Потім проводиться узагальнення та формуються алгоритми рішень.

Недоліком ШНМ у порівнянні з МАІ є недостатня інтерпретація результатів (незрозуміло, чому альтернатива признається кращою). Разом із тим, такий підхід є новим і перспективним напрямком вирішення задач класу вибору та розвитку СППР на основі головної переваги ШНМ перед іншими методами – можливості удосконалення мереж.

У системі підтримки та прийняття рішень на базі нейронних мереж можна вирішувати задачі: розпізнання і формування образів альтернатив, отримання та збереження удосконалень, оцінки якісних характеристик образів та прийняття рішень (вибору впливу).

Основні етапи алгоритму МРО містять:

1. Специфікацію моделі методу та формалізацію вхідних і результуючих змінних. При цьому задаються такі параметри, як кількість властивостей (критеріїв) (c); образи, на яких удосконалюється нейронна мережа, та їх числові характеристики (критерії і коефіцієнти важливості) (x); помилки удосконалення (e); ступінь поліномів Чебишева (p).

2. Удосконалення нейронної мережі. Для встановлення правил класифікації образів застосовуються ШНМ, на застосування яких задаються критерії образу, що удосконалюється, та коефіцієнти їх (критеріїв) важливості. На цьому етапі проводиться заміна зразка, що удосконалюється у результуючій функції, відбувається корекція вектора ваг та обчислюються поліноми Чебишева.

$$d(x) = w \cdot \phi(x) \quad (1)$$

Корекція вектора ваг:

$$w(k+1) = \begin{cases} w(k) + \alpha \cdot \phi(x), & \text{якщо } d(x) < 1 \\ w(k) - \alpha \cdot \phi(x), & \text{якщо } d(x) > 1 \end{cases}$$

де $\alpha=1/k$; k – крок удосконалення; ϕ – похідна коефіцієнта важливості ($K\phi$) і сформованої послідовності поліномів Чебишева

$$\phi(x) = K_B \cdot T_o(x),$$

де $K_B = 1$ (критерій не бере участь у формуванні полінома, в іншому випадку – K_B задається).

Поліном Чебишева має вигляд:

$$T_o(x) = T_o(x_1) \cdot T_o(x_2) \cdot \dots \cdot T_o(x_c),$$

...

$$T_{n(p+1)^c}(x) = T_p(x_1) \cdot T_p(x_2) \cdot \dots \cdot T_p(x_c).$$

Поліноми Чебишева обчислюються за рекурентним співвідношенням:

$$T_{m+1}(x) = 2x \cdot T_m(x) - T_{m-1}(x),$$

$$\text{якщо } T_0(x) = 1 \text{ і } T_1(x) = x.$$

На першому кроці удосконалення ($k = 1$), вектор ваг (w) може задаватися довільно, але в нашому випадку він дорівнює 0.

Процедура удосконалення продовжується до тих пір, поки функція, що удосконалюється не дає результату в заданому діапазоні:

$$1 - e < d(x) < 1 + e.$$

3. Введення альтернатив у результуючу функцію (1) для розпізнавання образів. Образ, при підстановці якого значення результуючої функції наближається до 1, є найбільш привабливим, що і дозволяє визначити ступінь належності до класу образу нейронної мережі, що удосконалювався.

Для кращого сприйняття результатів роботи моделі проводиться нормалізація вихідних даних (y): $a = 1 - (y - 1)$, при $y > 1$.

Запропонований алгоритм вибору зразків СТССП на основі методу розпізнавання образів реалізований в СППР NooTron, яка

дозволяє вирішувати задачі класифікації, багатокритеріального та порівняльного аналізу альтернатив та їх вибору [5].

З метою апробації запропонованого підходу на основі МРО (за глобальним критерієм “ефективність - вартість”) було вирішено задачу щодо вибору кращого зразку із запропонованих тепловізорів, який доцільно використовувати для вирішення задач з охорони державного кордону на конкретній ділянці відповідальності відділу прикордонної служби “Хмельник”.

За 8-ма основними критеріям, визначеними замовником, було обрано 5 зразків тепловізорів фірми FLIR (див. табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики тепловізорів

№ з/п	Параметри	FLIR 324	FLIR 307	FLIR 420	FLIR LS 64	FLIR R124
1	Розширення екрану (пікселі)	76800	76800	76800	307200	19200
2	Частота кадрів (Гц)	8,3	8,3	60	7,5	25
3	Масштабування (оптичне збільшення)	2	2	4	2	2
4	Час роботи (год)	6	5	4	5	4
5	Вага (кг)	0,66	0,9	0,88	0,34	2,1
6	Температурна чутливість (мК)	<50	<50	45	<50	<50
7	Дальність виявлення людини (км)	0,44	1,45	1,28	1,8	0,18
8	Ціна (у. о.)	8669,99	9101	16086	8470	3930

Порівняльний аналіз зразків тепловізорів та значень їх характеристик свідчить про те, що вибір кращих зразків є проблематичним (рис. 1).

Розрахунок виконується згідно з основними етапами алгоритму МРО.

На першому етапі рішення виконується аналіз усіх критеріїв і сортування зразків за класами (у нашому випадку найкращі віднесено до 1-го класу, а найгірші до 3-го класу).

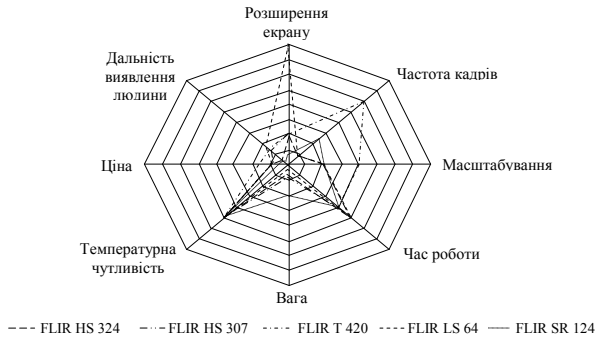


Рис. 1. Графічна інтерпретація зразків тепловізорів, що порівнюються, та їх характеристик

У подальшому, обравши значення на основі опрацювання зразків, що порівнюються, задаються параметри кожного класу із урахуванням співвідношення “ціна – якість (ефективність)”. Кращі варіанти для кожного класу подано у вигляді таблиці (див. табл. 2). Результат розрахунків щодо вибору кращого зразка тепловізорів, на основі застосування алгоритму МРО, що проведені в СППР NooTron, наведені на рис. 2.

Таблиця 2

Характеристики тепловізорів для вибору

№ з/п	Альтернативи	I клас	II клас	III клас
1	FLIR HS324	0.961841	0.96496	0.976173
2	FLIR HS307	0.987832	0.996134	0.898179
3	FLIR T420	0.987441	0.965298	0.847917
4	FLIR LS 64	0.999915	0.965363	0.742238
5	FLIR SR-124	0.949008	0.948319	0.972444

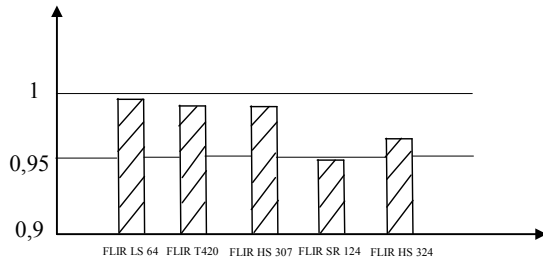


Рис. 2. Графічна інтерпретація порівнювальних зразків тепловізорів і їх характеристик

Найбільш кращим варіантом визначений тепловізор FLIR серії LS 64.

З метою підтвердження результатів розрахунків та порівняння отриманих варіантів на основі МРО було проведено розрахунок даної задачі також методом аналізу ієрархій, згідно з алгоритмом, наведеним в роботі [1]. Результати досліджень наведені в табл. 3 та на рис. 3.

За результатами отриманих розрахунків можна зробити висновок, що найбільш кращим зразком також є FLIR серії LS 64, що підтверджує можливість використання методу розпізнання образів для порівняльної оцінки та вибору зразків тепловізорів.

Таблиця 3

Результати порівняння тепловізорів на основі МАІ

№ з/п	Альтернативи	Глобальні пріоритети
1	FLIR LS 64	0.246
2	FLIR T420	0.205
3	FLIR HS307	0.195
4	FLIR SR-124	0.179
5	FLIR HS324	0.174

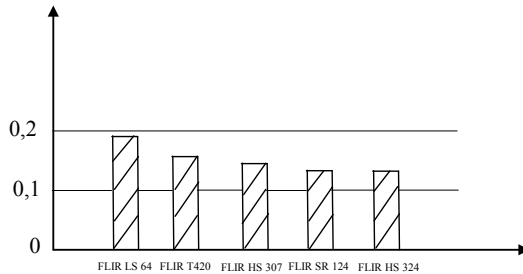


Рис. 3. Результати порівняння тепловізорів на основі МАІ

Порівняння цих методів щодо їх потенційної можливості вирішення задач вибору дозволило виявити їх переваги та недоліки (див. табл. 4).

Так, наприклад, недолік МРО – недостатня інтерпретація результатів, а недолік МАІ – суб’єктивність при визначенні експертами вагомих коефіцієнтів для показників, що порівнюються. Вказане вимагає пошуку наукових підходів з метою використання переваг двох методів у комплексі.

Таблиця 4

Переваги та недоліки МРО та МАІ

Методи, що порівнюються	Переваги	Недоліки
Метод розпізнавання образів	Є менш об’ємним та трудомістким	Недостатня інтерпретованість результатів (неясно, чому альтернатива признана кращій)
Метод аналізу ієрархій	Можливість проведення покрокового аналізу кожного критерію	Трудомісткий. Суб’єктивність при визначенні експертами вагомих коефіцієнтів для показників, що порівнюються

Висновки і напрямки подальших досліджень.

1. З метою вирішення задачі порівняльної оцінки та вибору складних технічних систем спеціального призначення й усунення

недоліків методу аналізу ієрархій запропоновано застосувати метод розпізнання образів.

2. Результати апробації методу розпізнання образів для порівняльної оцінки та вибору зразків тепловізорів підтверджують його працездатність та достовірність результатів, що отримуються.

3. Порівняння методів вирішення задач вибору складних технічних систем спеціального призначення на основі методів аналізу ієрархій та розпізнання образів дозволило визначити їх переваги та недоліки, які обґрунтовують необхідність застосування цих методів у комплексі.

Список використаної літератури

1. Євдохович Б. В. Методичний підхід щодо обґрунтування вибору зразків тепловізійної техніки для охорони державного кордону / Б. В. Євдохович // Зб. наук. пр. – Хмельницький : НАДПСУ, 2013. – № 20 – С. 30–46.

2. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Керне. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.

3. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения / Я. А. Фомин. – 2-е изд. – М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с.

4. Фомин Я. А., Тарловский Г. Р. Статистическая теория распознавания образов / Я. А. Фомин, Г. Р. Тарловский. – М.: Радио и связь, 1986. – 624 с.

4. Горбань А. Н. Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей / А. Н. Горбань // Сибирский журнал вычислительной математики, 1998, т. 1. – № 1. – С. 12–24.

5. Миркес Е. М. Логически прозрачные нейронные сети и производство явных знаний из данных // Нейроинформатика / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский, А. Н. Кирдин и др. – Новосибирск : Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296 с.

Рецензент – доктор військових наук, професор Кириленко В. А.

Стаття надійшла до редакції 31.03.2014.

Євдохович Б. В. Обоснование методического подхода к оценке и выбору образцов тепловизоров для охраны государственной границы

В статье обоснован выбор научно-методического инструментального средства для решения научно-прикладной задачи выбора образцов тепловизионной техники, которая используется для обеспечения надежной охраны государственной границы. Результаты апробации метода распознавания образов для сравнительной оценки и выбора образцов тепловизоров подтверждают его работоспособность и достоверность полученных результатов.

Ключевые слова: обоснование, тепловизионная техника, принятия решения, охрана государственной границы.

Yevdokhovich B. V. **Substantiation of methodological approach to sample evaluation and selection of thermal surveillance devices for state border protection**

Under modern conditions when the world market provides a wide range of new models of thermal imaging technology there is a need for solving the scientific problem to develop a methodological approach to the evaluation and selection of the best samples matching the “efficiency (quality) – cost” criterion. The results of solving this problem enable to provide the best selection of sample thermal imaging technology with tactical and technical characteristics that could potentially meet the requirements (which relate to the thermal imaging equipment) in order to effectively perform the tasks in a particular area of the state border and to avoid unreasonable resource expenditures.

Present conditions and prospects for threats and risks development on the State Border of Ukraine require continuous increasing of demands for the mathematical apparatus being used to substantiate the selection of complex technical systems for special purposes (CTSSP). This is due to the high cost of present modernization projects of CTSSP, costly resources for their execution (e.g., time and finances), high risk of making wrong decisions and serious consequences of them in the development and management of projects.

In order to solve the problems of comparative evaluation and selection of CTSSP being used at the manufacture, transport, in the military sphere, in the course of the state border protection, etc., the hierarchy

analysis method (HAM) is often used. However, the use of HAM has several disadvantages, including the following: the complexity, the labor input for calculations, and the subjectivity of weighty coefficients definition for the indicators being compared.

In order to eliminate drawbacks of HAM the use of image processing method (IPM) has been proposed which is based on the model formation to compare alternatives for class ideal images (“ideal” alternative).

Based on this, the purpose of the article is to analyze the existing approaches and to substantiate the proposed methodological approach to evaluation and selection of sample thermal surveillance devices for border protection.

The algorithm to select samples of CTSSP based on the image processing method implemented in DSS NooTron has been offered which enables to solve the problem of classification, multicriterion and comparative analysis of alternatives and their selection. The main stages of the IPM algorithm include the formalization of the input and resulting variables, development of neural network; at this stage the substitution of improved pattern in the resulting function; the correction of the weight vector is carried out and the Chebyshev polynomials are computed; the alternatives are introduced into the resulting function for image recognition.

In order to test the proposed approach being based on IPM the task on selecting the best sample of the proposed thermal surveillance devices to use for protection of the state border in a specific area of responsibility of a border guard service department has been solved.

To confirm the results of calculations and compare the obtained variants being based IPM the calculation of this problem has been carried out using the hierarchy analysis method. According to the results obtained by calculations the article concludes that it is possible to utilize the image processing method for comparative evaluation and selection of samples of thermal surveillance devices. The comparison of these methods with respect to their potential for solving selection problems has revealed their advantages and disadvantages.

The conclusions of the article substantiate the reliability of result obtained from the application of the image processing method for compara-

tive evaluation and sample selection of thermal surveillance devices and the feasibility to apply methods being considered in combination.

Keywords: *substantiation, thermal imaging technology, decision making, state border protection.*