

УДК 621.331.5:537.533.3:355.457.1

Б.В. ЄВДОХОВИЧ
Національна академія Держаної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький
Г.Л. ЄВТУШЕНКО
Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИБІР НАЙКРАЩИХ ЗРАЗКІВ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

На основі проведених досліджень з використанням методу аналізу ієрархій запропоновано системний підхід розв'язання наукової задачі порівняльної оцінки та вибору зразків тепловізійної техніки за багатьма критеріями. Розв'язання вказаної задачі дає змогу усунути недоліки існуючих підходів багатокритеріальних задач вибору тепловізійної техніки, за рахунок підвищення їх обґрунтованості і, як наслідок, зменшення кількості помилкових рішень. В статті запропоновано вирішення типових задач за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій в абсолютних вимірюваннях, який інтегровано в бібліотеку методів системи підтримки прийняття рішень NooTron.

Ключові слова: тепловізійний комплекс, багатокритеріальна задача, вибір, охорона кордону.

BOHDAN VOLODYMYROVICH YEVDONOVYCH
National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine
GALINA LVOVNA YEVTUSHENKO
National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk

MULTICRITERIA EVALUATION AND CHOICE OF THE BEST EXAMPLES OF THERMAL IMAGER EQUIPMENT FOR BORDER SECURITY

According to many studies based on the analytic hierarchy method, systematic approach of scientific problem solving of comparative appreciation and multicriteria choice of thermal imager equipment models was proposed. Solving the problem gives an opportunity to eliminate defects of the existing approaches of multicriteria tasks of thermal imager equipment choice by increasing their validity and as a result reduction the number of false decisions. Way of solving of typical problems with the help of modified analytic hierarchy method in absolute measurement was proposed in this article, and this method was integrated into the support decision system Nootron.

Keywords: thermal imager equipment, multicriteria task, choice, border security.

Вступ. Тепловізійна техніка (ТВТ) знаходить широке застосування у виконанні завдань оперативно-службової діяльності в органах охорони державного кордону. При цьому розширюється і вдосконалюється набір принципів, способів та інструментів використання тепловізійних приладів. Саме тепловізори, які здатні вести цілодобове і всесезонне спостереження, виявилися найефективнішим технічним рішенням питання охорони і контролю, і є економічно вигідними. З введенням в дію ТВТ уздовж ділянок прикордонних рубежів витрати на охорону вдалося зменшити вдвічі. Незаперечною перевагою приладів в даному випадку виявилася не тільки їх здатність «бачити» в нічний час, але і працювати на значних відстанях. Враховуючи значну протяжність кордонів, ефективність приладів у виконанні цього завдання складно переоцінити.

Принцип дії ТВТ заснований на тому, що будь-який об'єкт випромінює електромагнітні хвилі в дуже широкому діапазоні частот, у тому числі і хвилі в інфрачервоному спектрі, так зване «теплове випромінювання». При цьому інтенсивність теплового випромінювання безпосередньо залежить від температури об'єкта, і лише в дуже малому ступені залежить від умов освітленості у видимому діапазоні.

Таким чином, за допомогою тепловізійного приладу про будь-який спостережуваний об'єкт може бути зібрана та візуалізована додаткова інформація, яка недоступна людському оку. Відомо, що тепловізор – пристрій, який дозволяє візуалізувати картину теплового випромінювання спостережуваного об'єкта. Це відкриває ряд унікальних можливостей для різних сфер діяльності: точних вимірювань, контролю технологічних процесів, забезпечення безпеки та ін.

Принцип дії сучасних тепловізорів заснований на здатності деяких матеріалів фіксувати випромінювання в інфрачервоному діапазоні. За допомогою оптичного приладу, до складу якого входять лінзи, виготовлені із застосуванням рідкісних матеріалів, прозорих для інфрачервоного (ІЧ) випромінювання (таких як германій), теплове випромінювання об'єктів проектується на матрицю датчиків, чутливих до інфрачервоного випромінювання. Далі складні мікросхеми зчитують інформацію з цих датчиків, і генерують відеосигнал, де різним температурам спостережуваного об'єкта відповідає різний колір зображення. Шкала відповідності кольору точки на зображенні до абсолютної температури спостережуваного об'єкта може бути виведена поверх кадру. Також можливе зазначення температур найбільш гарячої та найбільш холодної точки на зображенні.

Залежно від моделі ТВТ розрізняються за величиною інтервалу вимірюваної температури. Сучасні технології дозволяють розрізнити температуру об'єктів з точністю до 0,05-0,1 К.

Багато тепловізійних приладів також оснащені пристроями пам'яті для запису отриманого відеозображення картини теплового випромінювання, продуктивними мікропроцесорами, що дозволяють здійснювати в режимі реального часу мінімальну аналітику отриманого в результаті сканування зображення

інфрачервоного випромінювання. Досить часто використовується конфігурація спільного використання тепловізора і відеокамери, що дозволяє в загальному випадку отримати зображення об'єкта в «розширеному» діапазоні об'єднаних інфрачервоного і видимого спектрів, а в несприятливих умовах (наприклад, відсутність освітлення об'єкта) спостерігати об'єкт хоча б в одному з діапазонів. ІЧ або видимий діапазон можуть як накладатися один на одного, так і транслюватиметься окремо. Спеціальне програмне забезпечення дозволяє налаштувати роботу тепловізійного комплексу, максимально ефективно скоординувати роботу всіх вхідних у нього пристроїв.

Точність зображення та інші характеристики тепловізора зазвичай визначаються сферою його використання. У наукових лабораторіях використовуються більш складні конструкції, що мають за рахунок вузької спеціалізації найменший діапазон вимірюваної температури. Для забезпечення безпеки на різних об'єктах використовуються моделі, що фіксують теплове випромінювання з трохи меншою точністю, проте працюють на більш широкому діапазоні частот і з більш ніж достатньою для ефективного виконання своїх функцій точністю. У кожному разі, принцип дії тепловізора – вимірювання та візуалізація теплового випромінювання – затребуваний в усіх сферах життя сучасного суспільства.

У сучасних умовах, коли на світовому ринку пропонується широка номенклатура нових зразків ТВТ, виникає наукова задача оцінки та вибору їх кращих зразків за сукупністю критеріїв. Результат її розв'язання дає змогу забезпечити оптимальний вибір зразків ТВТ. Для розв'язання поставленої задачі пропонується використати системний підхід з використанням методів багатокритеріального аналізу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Задача, що розглядається належить до класу багатокритеріальних задач, розв'язанню якої, у свою чергу, присвячено значну кількість досліджень та розроблено ряд методичних підходів для розв'язання наукових задач вибору залежно від специфіки їх застосування на практиці [1–4].

Однак ці підходи мають наступні недоліки: недостатній рівень достовірності розв'язків вибору зразків ТВТ; зведення задачі вибору до однокритеріальної; відсутність систем автоматизованого розв'язання задач вибору та ін.

У [5] запропоновано підхід до вирішення багатокритеріальної задачі вибору на базі методу аналізу ієрархій, який інтегровано у систему підтримки прийняття рішень NooTrop [6].

Розглянемо системний підхід щодо розв'язання задачі з порівняльної оцінки та вибору кращих зразків ТВТ, який спрямовано на усунення приведених недоліків, на прикладі вибору кращих зразків ТВТ для охорони державного кордону.

Постановка задачі. На основі проведеного порівняльного аналізу існуючих методів розв'язання багатокритеріальних задач запропоновано системний підхід з вирішення завдань порівняльної оцінки та вибору зразків ТВТ за багатьма критеріями на основі *методу аналізу ієрархій* (МАІ), який належить до багатокритеріальних методів прийняття рішень.

Постановка задачі дослідження зводиться до вибору такого зразка ТВТ, який би забезпечував оптимальне значення критеріїв вибору з урахуванням індивідуальних переваг споживачів щодо технічних характеристик та економічності обраного зразка.

Постановка багатокритеріальної задачі оцінювання та вибору кращого зразка ТВТ передбачає з множини S_1, S_2, \dots, S_j зразків ТВТ, які пропонуються на ринку з відповідними характеристиками $S_j(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})$, обрати оптимальний зразок (S_{opt}) з такими характеристиками, що забезпечують максимальний рівень його технічної досконалості ($T_{D_{max}}$) та мінімальну вартість його придбання і витрат на експлуатацію (C_{min}).

Вирішення поставленої задачі. Для вирішення поставленої задачі обрано МАІ, який ґрунтується на ієрархічному представленні елементів, які визначають суть проблеми.

Проблема поділяється на простіші складові, які потім оцінюються особою, що приймає рішення (ОПР), або експертом відносно ступеня взаємодії елементів ієрархічної структури [4].

МАІ поєднує три підходи щодо порівняння альтернатив:

- 1) порівняння альтернатив щодо стандартів;
- 2) порівняння альтернатив копіюванням;
- 3) попарне порівняння.

Перші два підходи з порівняння використовуються у випадку, коли з тих чи інших причин відсутні оцінки альтернатив за деякими критеріями. Найбільш поширеним є підхід з попарного порівняння.

Для порівняння об'єктів за якісними характеристиками в МАІ пропонується заповнювати матриці попарного порівняння на основі тверджень за дев'ятибальною шкалою (шкалою Сааті) [1]. При порівнянні альтернатив за кількісними характеристиками можна використовувати шкали відносин [1].

Далі виконується математична обробка матриць парних порівнянь, яка спрямована на отримання локальних пріоритетів порівнювальних об'єктів. При точному процесі розрахунку локальних пріоритетів задача зводиться до знаходження власного вектору матриці парних порівнянь (1), що відповідає максимальному власному значенню [1]:

$$A \cdot X = \lambda_{max} \cdot X, \quad (1)$$

де A – матриця парних порівнянь (МПП),

X – n -мірний вектор, який складається з пріоритетів, що шукаються (n – кількість критеріїв у групі),

λ_{max} – максимальне власне значення МПП;

та подальшого нормування вектору X :

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1. \quad (2)$$

Кращим об'єктом є той, що відповідає максимальному значенню отриманого вектору локальних пріоритетів.

Проведення порівняльної оцінки та обґрунтування вибору зразків ТВТ (альтернативи) є складним завданням, для вирішення якого потрібно мати основні техніко-економічні характеристики (критерії) зразків ТВТ та кількісні значення (показники) альтернатив за цими критеріями.

Складністю проведення порівняльної оцінки та вибору зразків ТВТ є значна кількість техніко-економічних критеріїв та недостатність інформації.

Для вирішення поставлених задач запропоновано виділити дві групи характеристик ТВТ: *технічну досконалість та економічність*.

З практики відомо, основні технічні характеристики тепловізору, які відносять до технічної досконалості та на які, в першу чергу, звертають увагу спеціалісти, це такі, як тип матриці, фокусна відстань, чутливість матриці, кути огляду, температурний діапазон роботи, вагові характеристики, час неперервної роботи та багато ін.

Отже, необхідно розробити методичні основи для проведення порівняльної оцінки та вибору зразків ТВТ. Розв'язання задачі на основі обраного методу полягає у виконанні таких етапів у певній послідовності [1–6]:

- етап № 1 – відбір альтернатив (зразків ТВТ) для проведення порівняльного аналізу;
- етап № 2 – відбір критеріїв оцінювання зразків ТВТ, важливих для вирішення задачі;
- етап № 3 – структуризація поставленого завдання, побудова ієрархічної структури задачі;
- етап № 4 – визначення вектору глобальних пріоритетів альтернатив у першій групі критеріїв «Технічна досконалість»;
- етап № 5 – визначення вектору глобальних пріоритетів альтернатив у другій групі критеріїв «Економічність»;
- етап № 6 – обчислення глобальних пріоритетів альтернатив за комплексними критеріями «Технічна досконалість» та «Економічність».

На першому етапі обрано п'ять зразків сучасних ТВТ:

- Flir HS324 (ТВЗ – 1);
- Flir HS307 (ТВЗ – 2);
- Flir T420 (ТВЗ – 3);
- Flir серії LS 64 (ТВЗ – 4);
- Flir SR-124 (ТВЗ – 5).

На другому етапі визначено основні критерії та показники, наведені у таблиці 1.

На третьому етапі критерії, визначені на етапі №2, розподілено за групами «Технічна досконалість» та «Економічність», а також на основі аналізу взаємозв'язків між альтернативами, критеріями та метою, розроблено відповідну ієрархічну структуру задачі, яка наведена на рисунку 1.

Таблиця 1

Показники зразків ТВТ, що порівнюються

Зразки ТВТ	Розширення екрану	Частота кадрів, Гц	Масштабування	Температурна чутливість	Вага камери з упаковкою (кг)	Дальність виявлення	Час роботи (год)	Вартість ТВЗ (дол.)
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
ТВЗ – 1 (Flir HS-324)	76800	8,3	2	50	660	440	6	8669
ТВЗ – 2 (Flir HS307)	76800	8,3	2	50	900	1450	5	9101
ТВЗ – 3 (Flir T420)	76800	60	4	45	880	1280	4	16086
ТВЗ – 4 (Flir серії LS 64)	307200	7,5	2	50	340	1800	5	8470
ТВЗ – 5 (Flir SR-124)	19200	25	2	50	2100	180	4	3930

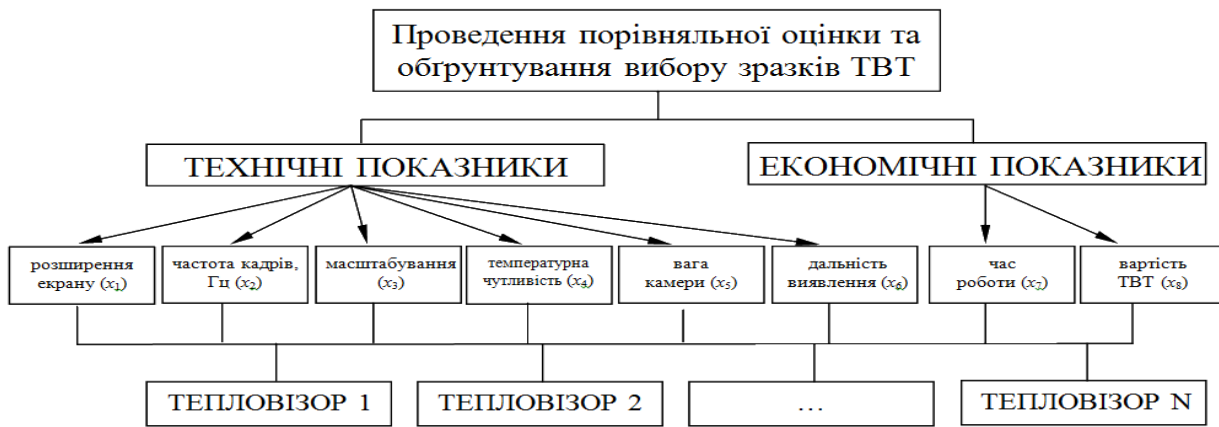


Рис. 1. Чотирьохрівнева ієрархія проблеми вибору зразків ТВТ

Для проведення етапів 4–6 необхідно обрати інструментарій для розрахунку глобальних пріоритетів за МАІ.

Для розв’язання поставленої задачі використаємо систему підтримки прийняття рішень у вигляді веб-додатку авторської «СППР NooTron» [5, 6], яка знаходиться у вільному доступі в інтернеті [7]. СППР NooTron має значну бібліотеку методів для вирішення багатокритеріальних задач. До цієї бібліотеки входить і класичний варіант *методу аналізу ієрархій*, який обрано для проведення порівняльного аналізу зразків ТВТ.

Так як задача представлена чотирьохрівневою ієрархією (*ціль - комплексні критерії - критерії - альтернативи*), а вбудований у СППР NooTron метод аналізу ієрархій наразі працює тільки з тривірневою ієрархією, визначимо глобальні пріоритети альтернатив відносно кожного з комплексних критеріїв. У подальшому синтезуємо загальні глобальні оцінки альтернатив (ТВТ) за комплексними критеріями.

У загальному випадку вирішення задачі порівняльного аналізу за МАІ у СППР NooTron складається з наступних кроків:

- виконання постановки задачі порівняння;
- визначення пріоритетів заданих критеріїв щодо мети;
- визначення пріоритетів альтернатив щодо кожного з критеріїв;
- аналіз отриманих глобальних пріоритетів на сторінці результату.

У результаті виконання етапу №4 у СППР NooTron отримані такі результати (рисунок 2). Видно, що кращою альтернативою за комплексним критерієм «Технічна досконалість» є ТВТ FLIR серії LS 64.

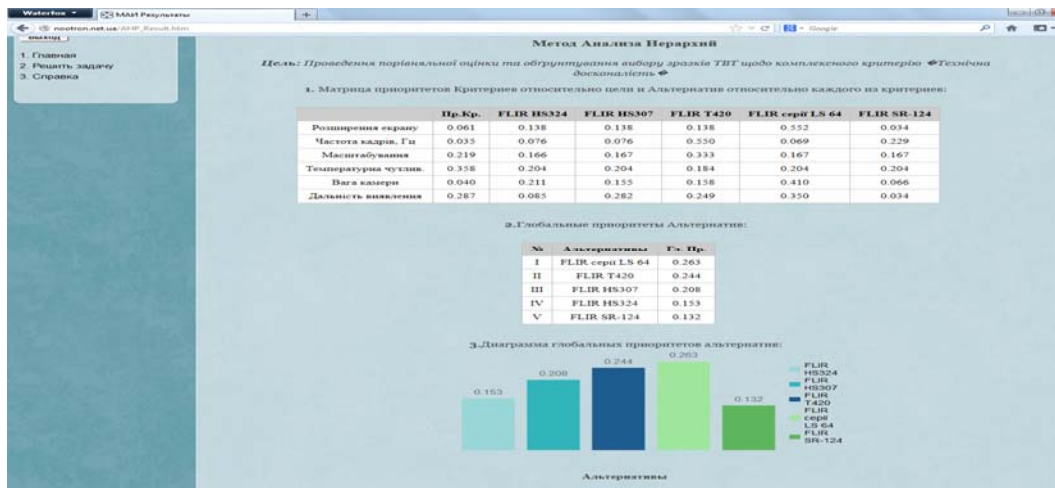


Рис. 2. Визначення вектору глобальних пріоритетів альтернатив у першій групі критеріїв «Технічна досконалість»

У результаті виконання етапу №5 у СППР NooTron отримані такі глобальні пріоритети (рисунок 3). Отже, за комплексним критерієм «Економічність» кращою є альтернатива FLIR HS-324, але, зазначимо, що за комплексним критерієм «Технічна досконалість» вона посіла передостаннє місце.

На етапі №6 синтезуємо глобальні оцінки альтернатив за комплексними критеріями «Технічна досконалість» та «Економічність». Для цього виконаємо наступні кроки у СППР NooTron:

- 1) Виконуємо постановку задачі МАІ.
- 2) Визначаємо пріоритети комплексних критеріїв. Зазначимо, що даний крок є одним з ключових при вирішенні поставленої задачі. В якості деякої «середньої» точки зору приймемо обидва критерії «рівної переваги», тобто за шкалою Сааті – «1».
- 3) Використовуючи шкалу відносин, введемо отримані на етапах 4, 5 пріоритети альтернатив щодо

кожного з комплексних критеріїв.

4) На сторінці результату отримуємо глобальні пріоритети альтернатив, синтезовані за комплексними критеріями (рисунок 4).

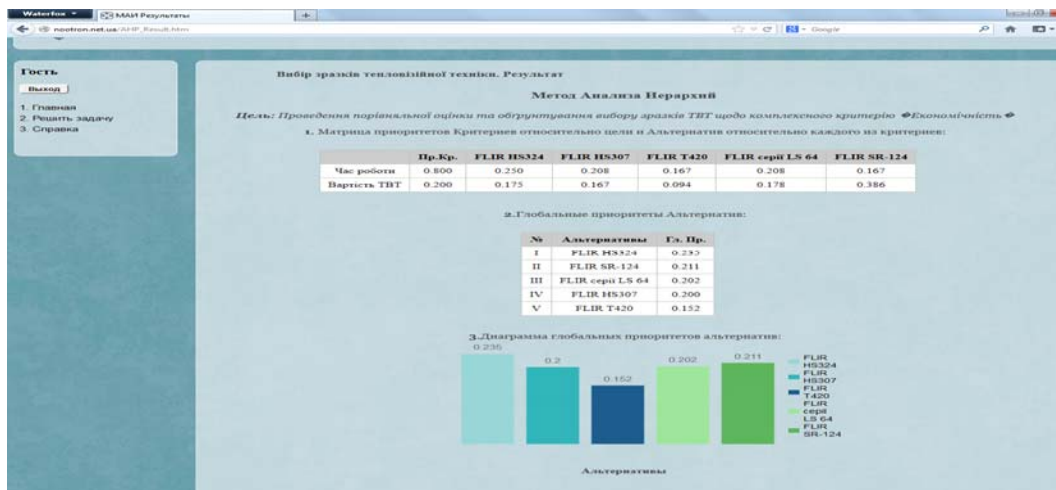


Рис. 3. Визначення вектору глобальних пріоритетів альтернатив у другій групі критеріїв «Економічність»

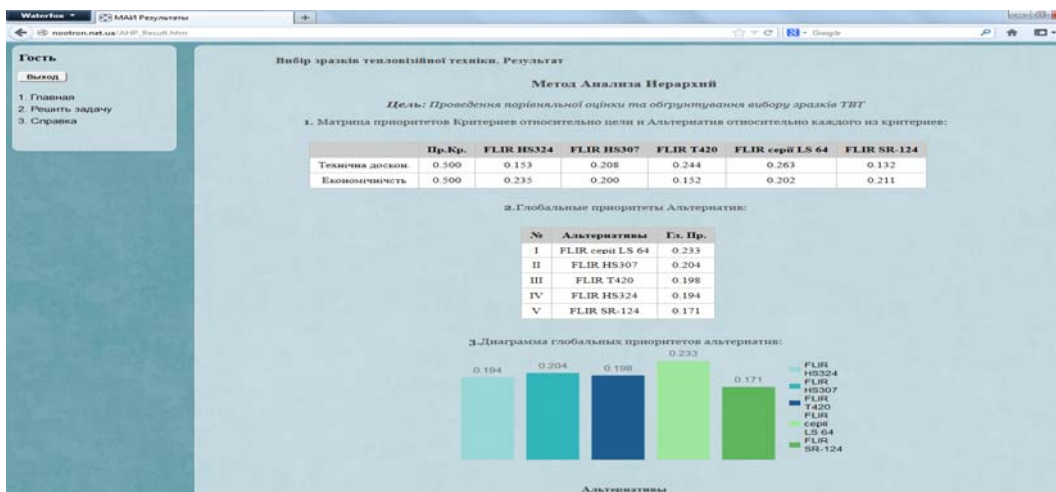


Рис. 4. Визначення вектору глобальних пріоритетів альтернатив за комплексними критеріями «Технічна досконалість» та «Економічність»

Результати апробації запропонованого підходу до вирішення завдання вибору кращого зразку ТВТ показують, що кращою альтернативою виявилася ТВТ FLIR серії LS 64. Необхідно зазначити, що ця альтернатива є найкращою за комплексним критерієм «Технічна досконалість» та третьою за комплексним критерієм «Економічність», але від кращої за цим критерієм альтернативи глобальний пріоритет FLIR серії LS 64 відстає лише на 0.033.

Можливості алгоритму вирішення багатокритеріальної задачі вибору дозволяють в реальному масштабі часу вносити зміни до локальних пріоритетів комплексних критеріїв та критеріїв у кожній групі.

Висновки. На основі проведених досліджень з використанням системи підтримки прийняття рішень NooTron [7] запропонований системний підхід вирішення задачі порівняльної оцінки та вибору зразків ТВТ за багатьма критеріями на основі методу аналізу ієрархій.

У результаті апробації запропонованого підходу найкращою альтернативою виявилася ТВТ FLIR серії LS 64. Зазначимо, що ця альтернатива є кращою за комплексним критерієм «Технічна досконалість» серед п'яти зразків ТВТ обраних до порівняння та другою за показником критерію «Час роботи (год)» (5 годин), а також другою за показником критерію «Вартість ТВЗ (дол.)» (8470 дол.).

У той же час необхідно відзначити, що дана багатокритеріальна задача може бути вирішена за допомогою модифікованого МАІ – МАІ в абсолютних вимірюваннях, який також інтегровано в бібліотеку методів СППР NooTron. Перевага даного методу полягає в тому, що на відміну від класичного МАІ, він дозволяє порівнювати велику кількість об'єктів (альтернатив). Даний метод можна застосовувати, якщо за кожним критерієм можна виділити від 2-х до 5-и інтенсивностей (лінгвістичних шкал критеріїв, за якими виносяться судження про об'єкт).

Використання СППР NooTron під час розв'язання поставленої задачі дозволило детальніше провести порівняльний аналіз зразків ТВТ, а також оперативно отримувати результати розрахунків у вигляді наочних діаграм та таблиць. При цьому також виникла необхідність удосконалення системи для проведення

порівняльного аналізу у задачах із чотирьохрівневими ієрархіями.

Запропоноване розв'язання задачі оцінювання та вибору найкращих зразків ТВТ дає змогу усунути недоліки існуючих підходів при розв'язанні задач вибору ТВТ, за рахунок підвищення їх обґрунтованості і, як наслідок, зменшення кількості помилкових рішень.

Література

1. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Саати Т.Л. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
2. Самков О.В. Методичний підхід для порівняльної оцінки та вибору зразків енергетичного котлового обладнання / О.В. Самков, Ю.А. Захарченко, А.А. Скрипченко, М.М. Хамровська // Проблеми інформатизації та управління – К. : НАУ, 2009. — № 4 (28). — С. 120–124.
3. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров / Г. Г. Азгальдов. — М. : Экономика, 1982. — 258 с.
4. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Т.Р. Брахман. — М. : Радио и связь, 1984. — 288 с.
5. Сливинский В.И. Многокритериальный анализ сотовых заполнителей в системе поддержки принятия решений NooTron / В.И. Сливинский, А.И. Михалёв, В.И. Кузнецов, Г.Л. Теплякова // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники : сборник материалов V Международной научно-практической конференции. – Днепропетровск, 2013. – С. 141–151.
6. Михалев А.И. Оценка эффективности проектов объединенным методом многокритериального анализа / А.И. Михалев, В.И. Кузнецов, Г.Л. Теплякова // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Днепропетровск, 2012. – Выпуск 3 (80). – С. 113–121.
7. Система поддержки принятия решений NooTron [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nootron.net.ua>

References

1. Saati T.L. Decisionmaking in dependency and feedback: Analytic net. –M.: Publishing House LKI, 2008 - 360 p.
2. Methodological approach for comparative appreciation and choice of examples of energetic boiler equipment// Problems of informatization and management/ O.V. Samkov, Y.A. Zakharchenko, A.A. Skripchenko, M.M. Khamrovska. – K.: NAU, 2009. - №4 (28). – p. 120-124.
3. Azhaldov G.G.Theory and practice of goods quality evaluation //G.G.Azhaldov. – M.: Economy, 1982. - 258 p.
4. Brakhman T.R. Multicriteria and alternative choice of techniques /T.R. Brakhman. – M.: Radio and connection, 1984. – 288 p.
5. Multicriteria analysis in the support decision system Nootron / Slivinskiy V.I., Mikhalyov A.I., Kuznetsov V.I., Tepliakova G.L.// Effectiveness of sell structure in products of aviation – space techniques : collection of materials V International scientifically – practical conference. – Dnipropetrovsk , 2013.- p. 141-151.
6. Mikhalev A.I., Kuznetsov V.I., Tepliakova G.L. Evaluation of effectiveness of projects by combined method of multicriteria analysis // System technology. Regional Intercollegiate compilation of scientific work. – Publishing 3 (80). Dnipropetrovsk, 2012.-p. 113-121.
7. Support decision system Nootron URL: <http://nootron.net.ua>

Рецензія/Peer review : 01.08.2014 р. Надрукована/Printed :1.10.2014 р.
Рецензент: д.війс.н., снс, В.А. Кириленко