

УДК 629.016

А.Г. Павленко, канд. техн. наук

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, м. Чернігів, Україна

ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЗРАЗКІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ В ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІЙ СИСТЕМІ**А.Г. Павленко**, канд. техн. наук

Государственный научно-испытательный центр Вооруженных Сил Украины, г. Чернигов, Украина

ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА МЕТОДА СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**Anatolii Pavlenko**, PhD in Technical Sciences

State Research and Test Center of The Armed Forces of Ukraine, Chernihiv, Ukraine

APPROACH TO SUBSTANTIATION OF THE COMPARATIVE ANALYSIS METHOD CHOICE FOR AERONAUTICAL TECHNICS TECHNICAL LEVEL ASSESSMENT IN THE INFORMATIONAL AND ANALYTICAL SYSTEM

Запропоновано підхід до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу для оцінювання технічного рівня зразків авіаційної техніки. Підхід ґрунтується на оцінюванні близькості одержуваних різними методами ранжировання альтернатив. Для порівняння використовувались основні популярні методи прийняття рішень у багатокритеріальних задачах: метод простого зважування, метод ідеальної точки та метод ELECTRE. Близькість одержаних результатів оцінювалось за допомогою функції відстані між ранжировками і коефіцієнта кореляції Кендалла. Як критерій для вибору методу порівняльного аналізу використано можливість отримання середньої ранжировки.

Ключові слова: прийняття рішень, порівняльний аналіз, технічний рівень.

Предложен подход к обоснованию выбора метода сравнительного анализа для оценки технического уровня образцов авиационной техники. Подход базируется на оценивании близости получаемых разными методами ранжировок альтернатив. Для сравнения использовались основные популярные методы принятия решений в многокритериальных задачах: метод простого взвешивания, метод идеальной точки, метод ELECTRE. Близость полученных результатов оценивалась с помощью функции расстояния между ранжировками и коэффициента корреляции Кендалла. В качестве критерия для выбора метода сравнительного анализа использована возможность получения средней ранжировки.

Ключевые слова: принятие решений, сравнительный анализ, технический уровень.

The approach to substantiation of the comparative analysis method choice for aeronautical technics technical level assessment is proposed. This approach is based on closeness evaluating of the alternatives ratings obtained by the different methods. Basic popular multi-criteria decision making methods were used to compare: simple weighing method, ideal point method and ELECTRE method. The results closeness is evaluated by the function of distance between ratings and Kendall correlation coefficient. The middle rating obtaining ability is used as a criteria for comparative analysis method choice.

Key words: decision making, comparative analysis, technical level.

Постановка проблеми. Серед чинників, що визначають ефективність військово-технічної політики, особливо в умовах імпортозаміщення, суттєвим є ступінь обґрунтованості рішень, що приймаються. Для прийняття рішень, пов'язаних з вибором доцільного напрямку розвитку авіаційної техніки (АТ), визначенням перспектив розвитку наявних зразків АТ або варіантів їх модернізації, формулюванням вимог до знов створюваних зразків та їх складових частин важливою інформацією є оцінювання технічного рівня (ТР) зразка як складної технічної системи.

Оцінювання технічного рівня зразків АТ передбачає вирішення задачі порівняльного аналізу, причому ситуації, в яких особі, що приймає рішення (ОПР), необхідно здійснити вибір з кінцевої множини альтернативних варіантів, кожний з яких оцінюється за декількома критеріями, відносяться до задач дискретного багатокритеріального прийняття рішень (ДБКПР). Подібні задачі є погано структурованими, оскільки в них є невизначеність складу та структури критеріїв оцінювання [1]. Для вирішення таких задач застосовуються системи підтримки прийняття рішень або інформаційно-аналітичні системи.

Якість вирішення такого класу задач залежить від використовуваних методів порівняльного аналізу, які мають бути обрані дослідником з широкого спектра методів ДБКПР. Вважається, що рекомендувати який-небудь один метод не виявляється можливим, оскільки немає чітких критеріїв застосовності або непридатності різних методів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи вирішення задач ДБКПР залишаються предметом численних досліджень вітчизняних [1–5] і зарубіжних [6–13] учених. У більшості робіт відзначається, що під час вибору методу вирішення конкретної задачі прийняття рішення враховуються два основні чинники:

– відповідність методу, що обирається, об'єктивним характеристикам вирішуваної задачі (варіант постановки задачі, умови і множина альтернативних рішень, число та взаємозв'язок критеріїв тощо);

– об'єктивні (часові, обчислювальні) та суб'єктивні (кваліфікація, допустимі працевитрати ОПР) обмеження.

Крім цього, для усунення невизначеності в постановці задачі, як правило, потрібні досвід та інтуїція ОПР.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В роботах [4; 5] пропонується алгоритм порівняння методів комплексного кількісного оцінювання якості складних систем. Цей алгоритм передбачає порівняння оцінок, отриманих різними методами, за кількістю незбігаючих упорядкувань у різних ранжировках, але не враховує характер незбігань, тобто відношень між елементами в цих ранжировках. Це, у свою чергу, не дозволяє виявити та оцінити зв'язок між результатами, що отримуються різними методами.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є формування підходу до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу для оцінювання технічного рівня зразків АТ з урахуванням корельованості результатів, що отримуються різними методами. Для цього як показники близькості результатів використано функцію відстані між ранжировками та коефіцієнт рангової кореляції Кендалла.

Виклад основного матеріалу. Порівняльний аналіз як задача ДБКПР містить такі компоненти:

- набір альтернативних варіантів (масив об'єктів, що порівнюються);
- систему критеріїв (показників ТР);
- оцінювання альтернативних варіантів за критеріями (значення показників).

Найбільш зручним і ефективним вважається застосування ієрархічної системи критеріїв, коли під час оцінювання об'єктів дослідження вибираються інтегральні показники, що характеризують найбільш загальні суттєві властивості, наприклад: надійність, економічність, екологічність тощо. Кожна з цих властивостей може характеризуватися одиничними показниками. Той самий одиничний показник в ієрархічній системі критеріїв може впливати на різні інтегральні показники. Наприклад, для автомобілів одиничний показник «Тип палива» може входити і в групу інтегрального показника «Економічність», і в групу «Екологічність».

Таким чином, задача прийняття рішення та її компоненти (набір альтернативних варіантів, система критеріїв і оцінювання альтернативних варіантів за критеріями) – визначені. Процес ухвалення рішення має на меті знаходження кращого альтернативного або групи альтернативних варіантів з урахуванням безлічі локальних завдань, цілей, об'єктів дослідження, критеріїв й інших важливих чинників. Множина елементів, що підлягає дослідженню, розділяється на групи за визначеними ознаками. Потім досліджуються ці групи або їх типові представники як елементи нового рівня в загальній системі. Ці типові представники, у свою чергу, можуть групуватися за визначеними ознаками і так, піднімаючись до вищого рівня, досягається вершина, яку часто визначають

як мету прийняття рішення. За такої формалізації задачі найбільш раціональним є її рішення за допомогою методу аналізу ієрархій (AI) [6].

Цей метод має такі переваги [7]:

- дозволяє враховувати різні чинники і множинність цілей;
- дозволяє враховувати можливий ефект взаємодії чинників;
- має відносну простоту обчислень;
- дозволяє не лише упорядкувати альтернативні варіанти, але й отримати їх ранги.

Мережева структура методу AI передбачає визначення міри впливу чинників нижніх рівнів ієрархії на вершинний чинник, що є спільною метою. Оскільки різні чинники впливають неоднаково, необхідно визначити інтенсивність (пріоритети) їх впливу. Метод використовується для оцінювання абстрактних або невідчутних об'єктів, для яких немає стандарту вимірювань. Такими об'єктами є, наприклад, критерії, проте під час використання абсолютних вимірювань метод має певні недоліки. Передусім, він погано враховує діапазон зміни значення критерію. Отже, на етапі порівнювального аналізу альтернативних варіантів потрібен метод ДБКПР, який, за наявності набору альтернативних варіантів, критеріїв, значень альтернативних варіантів за критеріями (в абсолютному вимірюванні) і вагомість критеріїв, дозволяв би отримувати в результаті аналізу ранги альтернативних варіантів.

Крім методу AI, популярними методами прийняття рішень у багатокритеріальних задачах є: метод простого зважування; метод ідеальної точки та метод ELECTRE [8; 9]. Розглянемо коротко їх основні положення.

Метод простого зважування є одним з найбільш відомих і широко вживаних методів. Передбачається, що ОПР визначає вагомість критеріїв $W(W_1, W_2, \dots, W_n)$. Тоді найбільш прийнятним вважається альтернативний варіант, далі іменований альтернативою ALT^* , такий що

$$ALT^* = \left[ALT_i \mid \text{Max} \sum_{k=1}^q W_k C_{ik}, k \in [1, q] \right]. \quad (1)$$

Матрицю альтернативи – критерії **ALT-CRIT** (n альтернатив, q критеріїв) заздалегідь нормалізують, щоб отримати шкаліровані дані. Нормалізують матрицю таким чином:

$$C_{ik}^r = \frac{C_{ik} - C_k^{\min}}{C_k^{\max} - C_k^{\min}} \quad \text{– для критерію прибутку } C_{ik} \text{ (більше – краще);}$$

$$C_{ik}^r = \frac{C_k^{\max} - C_{ik}}{C_k^{\max} - C_k^{\min}} \quad \text{– для критерію вартості } C_{ik} \text{ (менше – краще),}$$

де C_k^{\max} і C_k^{\min} – максимальне і мінімальне значення k -го критерію в усьому наборі альтернатив. Величини нормованих значень критеріїв – від 0 до 1.

Необхідно зазначити, що якщо під час проведення процедури порівнювального аналізу з'являється ще один об'єкт з найкращими або найгіршими значеннями за якими-небудь показниками, то величини нормованих значень за цими показниками в інших альтернативних варіантів зміняться. Це реально може привести до зміни порядку дотримання варіантів у ранжировці, що у свою чергу суперечить певній логіці. Тому будь-яке включення додаткових альтернативних варіантів у список аналізованих об'єктів не повинне змінювати співвідношення між рештою варіантами.

Для виключення такого роду некоректності, як значення показників під час рішення пропонується брати відповідні значення функції цінності Фішборна [10]. Для кожного показника ОПР по точках формує свою функцію цінності. Значення її дорівнює 1 для

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

найважливіших (з погляду ОПП) значень показників, і рівне 0 для найменш важливих. Використання функції цінності Фішборна створює дві великі переваги:

1. Можливість визначати будь-які немонотонні характеристики впливу показника на результат аналізу.

2. Можливість аналізу єдиного об'єкта дослідження, оскільки функція Фішборна для кожного показника задає крайні точки шкали – найкраще і найгірше значення, з якими і робиться порівняння.

Метод ранжирування за відстанню до ідеальної точки, розроблений К. Юном і С. Вангом [9], заснований на концепції, головна ідея якої полягає в тому, що кращі рішення мають найменшу відстань до позитивно ідеального рішення і найбільшу відстань до негативно ідеального рішення. Передбачається, що функція корисності кожного критерію або монотонно зростає, або зменшується. Тоді позитивно ідеальне рішення формується з кращих значень критеріїв за усіма альтернативними варіантами, а негативно ідеальне – з гірших.

Алгоритм методу описується послідовністю таких кроків:

Крок 1. Будується зважена нормалізована матриця «альтернативи – критерії»:

$$NORM - ALT - CRIT(ALT_i, V_{i1}, \dots, V_{ik}, \dots, V_{iq}), \quad (2)$$

де $V_{ik} = W_k C_{ik}^r$, $i \in [1, n]$; C_{ik}^r нормовані так само, як у попередньому методі.

Крок 2. Визначається позитивно ідеальне (A^+) і негативно ідеальне (A^-) рішення, які описуються відповідно:

$$(A^+) = \{\text{Max}_i V_{ik} \mid i \in [1, n], k \in [1, q]\} = \{V_1^+, \dots, V_k^+, \dots, V_q^+\}, \quad (3)$$

$$(A^-) = \{\text{Min}_i V_{ik} \mid i \in [1, n], k \in [1, q]\} = \{V_1^-, \dots, V_k^-, \dots, V_q^-\}. \quad (4)$$

Крок 3. Розрахунок відстаней. Відстань від поточної альтернативи до ідеальної позитивної точки розраховується:

$$G_j^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^q (V_{ik} - V_k^+)^2}. \quad (5)$$

Аналогічно розраховується відстань від поточної альтернативи до негативно-ідеальної точки:

$$G_j^- = \sqrt{\sum_{k=1}^q (V_{ik} - V_k^-)^2}. \quad (6)$$

Крок 4. Розраховується відносна близькість до позитивно ідеальної точки. Відносна близькість альтернативи ALT_i до позитивно ідеальної точки A^+ визначається за формулою:

$$CL_i^+ = \frac{G_i^-}{G_i^+ + G_i^-}, \quad 0 < CL_i^+ < 1. \quad (7)$$

ALT_i тим ближче до A^+ , чим ближче CL_i^+ до 1.

Крок 5. Ранжирування альтернатив (альтернативних варіантів). Альтернативи ранжируються за зменшенням CL_i^+ . Якщо $CL_i^+ > CL_j^+$, то $ALT_i \succ ALT_j$.

Метод ELECTRE. Ідея методу була спочатку запропонована Бенаюном і потім розроблена Б. Руа і Нійкампом [8]. Сутність методу полягає в тому, що якщо навіть одна альтернатива не домінує над іншою математично, ОПП може розглядати альтернативу ALT_i майже напевно найкращою, ніж ALT_j .

Метод включає таку послідовність кроків:

Крок 1. Формується нормалізована матриця альтернатив – критеріїв **ALT-CRIT**, як це описано вище.

Крок 2. Розраховується зважена нормалізована матриця

$$NORM - ALT - CRIT(ALT_i, V_{i1}, \dots, V_{ik}, \dots, V_{iq}), \quad (8)$$

де $V_{ik} = W_k C_{ik}$.

Крок 3. Визначаються масиви згоди (concordance) і незгоди (disconcordance). Для пари альтернатив ALT_i і ALT_j множина критеріїв $CRIT[1, \dots, k, \dots, q]$ розділяється на дві підмножини. Множина згоди F_{ij} включає всі критерії, за якими ALT_i прийнятніше ALT_j : $F_{ij} = \{k \mid V_{ik} > V_{jk}\}$.

Доповнююча підмножина є множиною незгоди: $G_{ij} = \{k \mid V_{ik} < V_{jk}\}$.

Крок 4. Розраховуються індекси згоди і незгоди. Індекс згоди визначається як сума вагомостей критеріїв, що входять у масив згоди:

$$f_{ij} = \sum_{k \in F_{ij}} W_k. \quad (9)$$

Індекс незгоди відбиває міру того, наскільки ALT_i гірше, ніж ALT_j і визначається, як:

$$g_{ij} = \frac{\max_{k \in G_{ij}} |V_{ik} - V_{jk}|}{\max_{k \in [1, q]} |V_{ik} - V_{jk}|}. \quad (10)$$

Очевидно, $f_{ij} \in [0, 1]$ і $g_{ij} \in [0, 1]$.

Більш високе значення f_{ij} означає, що ALT_i прийнятніше ALT_j . Більше значення g_{ij} означає, що за критерієм незгоди ALT_i , менш переважно, чим ALT_j .

Крок 5. Визначаються індекси домінування (пороги) згоди і незгоди. На цьому етапі ОНР задає значення для порога згоди P і порога незгоди Q . Якщо $f_{ij} > P_{ij}$ і $g_{ij} > Q_{ij}$, то $ALT_i \succ ALT_j$.

Наведемо основні положення підходу до обґрунтування вибору методу порівняльного аналізу з розглянутих вище ДБКПР-методів.

Результати, отримані К. Ерроу [11], свідчать про неможливість отримання групової ранжировки із заданих індивідуальних ранжировок. Інакше кажучи, якщо один ДБКПР-метод дає одну ранжировку альтернатив, то інший метод за однакових початкових даних і тих же вагомостей критеріїв може дати іншу ранжировку.

Дослідимо з цього погляду описані методи прийняття рішень і оцінимо близькість отримуваних ранжировок.

Передусім, необхідно ввести поняття відстані між ранжировками. Функція відстані була введена Д. Кемені і Д. Снеллом [12; 13] і визначається таким чином. Нехай P і Q – ранжировки на множині A , і a і b – елементи A . Покладемо $y_{PQ}(a, b)$, рівним 0, якщо порядок a і b збігається в P і Q , рівним 2, якщо в одній ранжировці a перевершує b , і в іншій b перевершує a , рівним 1, якщо в одній ранжировці a перевершує b або b перевершує a , і в іншій ранжировці a і b пов'язані (рівнозначні).

Тоді функція відстані $d(P, Q)$ дорівнює сумі значень $y_{PQ}(a, b)$ за всіма невпорядкованими парами $\{a, b\}$ з A .

Якщо є спосіб вимірювання відстані між двома ранжировками, то за його допомогою можна визначити групову функцію узгодженості. Назвемо медіаною профілю ранжировок (P_1, P_2, \dots, P_l) таку ранжировку P , що $\sum_{i=1}^l d(P_i, P)$ мінімальна, а середньою ранжировкою таку ранжировку P , що $\sum_{i=1}^l d(P_i, P)^2$ мінімальна.

Бажано обирати як узгоджену групову ранжировку медіану або середнє. Медіана і середнє є в статистиці мірами «центральної» або «основної тенденції».

Природно очікувати, враховуючи теорему К. Ерроу, що процедура вибору медіани чи середнього або порушить одну з аксіом К. Ерроу, або виявиться не в змозі вибрати єдину ранжировку P , або матиме обидва ці недоліки [12].

Проте навіть якщо ця процедура не приведе до вибору єдиної ранжировки P , вона зможе обмежити розгляд множиною раціональних узгоджених ранжировок. Раціональний підхід полягає в послабленні вимог до функції групового узгодження. Якщо відмовитися від виявлення єдиної узгодженої ранжировки, то медіана і середнє визначають цілком прийнятні функції групового узгодження. Але залишається ще проблема вибору між медіаною і середнім. Одна зі складностей, пов'язаних із застосуванням методу Кемени-Снелла, обумовлена відсутністю ефективної процедури знаходження за цим профілем медіани і середнього.

Визначимо поняття кореляції між ранжировками. Коефіцієнт кореляції – це функція, що відносить до двох множин даних, число між -1 і 1 . Чим більше за абсолютною величиною це число, тим точніші висновки можна робити про одну множину даних, використовуючи іншу.

Класичним коефіцієнтом кореляції служить коефіцієнт Кендалла R , що вимірює кореляцію між двома ранжировками P і Q однієї множини об'єктів. Коефіцієнт Кендалла задається формулою:

$$R(P, Q) = 1 - \frac{2d(P, Q)}{n(n-1)}. \quad (11)$$

де d – функція відстані, описана вище; n – число елементів A .

Коефіцієнт Кендалла R отримується нормуванням відстані $d(P, Q)$ у величину, що змінюється між 0 і 1 і потім перетворену в шкалу $[-1, 1]$.

Дійсно

$$N(P, Q) = 1 - \frac{2d(P, Q)}{d_{\max}}, \quad (12)$$

де d_{\max} – максимальна відстань між двома ранжировками на множині A . Можна переконатися, що $d_{\max} = n(n-1)$.

Оперуючи поняттями відстані між ранжировками, середньої ранжировки і коефіцієнта кореляції, можна досліджувати і порівнювати результати, що отримуються за допомогою трьох описаних методів. З цією метою для п'яти різних прикладів проводився розрахунок усіма трьома методами. Потім визначалися відстані і коефіцієнти кореляції між отриманими ранжировками. Для кожного прикладу визначався метод, який давав середню ранжировку. З отриманих результатів визначено, що з п'яти випадків двічі дав середню ранжировку метод ідеальної точки, двічі – метод простого зважування й один раз обидва ці методи дали середню ранжировку.

Таким чином, виходячи з отриманих результатів, раціональним можна вважати вибір обох цих методів для порівняльного аналізу об'єктів.

Необхідно відзначити недоліки цих методів, пов'язані з їх компенсаторним характером. Під час їх застосування можливі ситуації, коли на більш високі місця в рейтингу можуть виходити об'єкти (варіанти з числа альтернативних), які поступаються за найважливішими критеріями, але виграють за сукупністю значень другорядних показників, що не завжди відповідає логіці. Крім цього, у користувача часто виникає потреба в аналітичній інформації, не пов'язаній безпосередньо з ваговими коефіцієнтами. При цьому пропонується, поряд з описаними вище методами, використовувати Парето – аналіз множини альтернатив.

Функція вибору за Парето:

$$C^{\text{Par}}(X) = \{x \in X \mid \forall y \in X, x \# y \exists i, x_i > y_i\}, \quad (13)$$

тобто точка x вибирається в X тільки тоді, коли будь-яка інша точка y з X має хоч би за однією координатою значення менше, ніж x .

Виділення множини Парето під час вирішення багатокритеріальних задач часто не задовольняє умови. Це пов'язано з тим, що при досить великій вихідній множині варіантів множина Парето значно перевищує можливості ОПР щодо здійснення остаточного самостійного вибору. Таким чином, виділення множини Парето можна розглядати лише як попередній етап оптимізації з необхідністю подальшого скорочення цієї множини.

Для скорочення множини Парето і надання експертові додаткової аналітичної інформації можна виділяти множину Парето не за всіма критеріями, а тільки за найважливішими. Але необхідно зазначити, що скорочення числа критеріїв, за якими виділяється множина Парето, не завжди може призводити до скорочення цієї множини. Можна запропонувати такий алгоритм побудови упорядкованої шаруватої структури альтернатив на основі впорядкування критеріїв (але без вагових коефіцієнтів).

Нехай є набір альтернативних варіантів $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ і набір впорядкованих за важливістю критеріїв (p_1, p_2, \dots, p_n) .

1. Вибираються два найважливіші критерії p_1 і p_2 (або верхня компактна група, тобто рівновагомі найбільш значущі критерії, чи найважливіший критерій та наступна за ним компактна група). За цими критеріями виділяється множина Парето. Нехай воно включає i альтернатив. Тоді ці варіанти утворюють верхню групу впорядкованої шаруватої структури.

2. Береться наступний за важливістю критерій (компактна група) і виділяється паретівський шар за всіма попередніми критеріями та ще новий критерій (компактна група) на всій множині альтернатив. Нехай у нього входять l_{i+1} альтернатив.

Очевидно, що $l_{i+1} \in l_i$.

З цієї множини виключаються альтернативні варіанти, що раніше входили до виділених груп шаруватої структури. Решта варіантів формують чергову групу.

Другий крок алгоритму повторюється доти, поки до шаруватої структури не потраплять усі варіанти, або доки не вибрані всі критерії.

Висновки. Розглянуто основні положення популярних методів прийняття рішень у багатокритеріальних задачах: методу простого зважування, методу ідеальної точки та методу ELECTRE. Запропоновано оцінювати близькість одержуваних цими методами ранжировок альтернатив за допомогою функції відстані між ранжировками і коефіцієнта кореляції Кендалла, а як критерій для вибору методу порівняльного аналізу використано можливість отримання середньої ранжировки. За цим критерієм більш раціональним для оцінювання ТР зразків АТ є використання та реалізація в інформаційно-аналітичній системі методу простого зважування й методу ідеальної точки. Для мінімізації впливу на результат вирішення задачі недоліків цих методів, пов'язаних з їх компенсаторним характером, пропонується використовувати Парето – аналіз множини альтернатив.

Список використаних джерел

1. Петровский А. Б. Теория принятия решений / А. Б. Петровский. – М. : Академия, 2009. – 400 с.
2. Ларичев О. И. Многокритериальные методы принятия решений и направление их всестороннего обоснования / О. И. Ларичев // Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления. – М. : ВНИИСИ, 1985. – С. 5–12.
3. Волошин О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. / О. Ф. Волошин, С. О. Машенко. – 2-ге вид., переробл. та доповн. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 336 с.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Лисецький Ю. М. Інформаційні системи і технології в менеджменті : монографія / Ю. М. Лисецький. – К. : Логос, 2014. – 417 с.
5. Лисецький Ю. М. Алгоритм сравнения методов комплексной количественной оценки качества сложных систем / Ю. М. Лисецкий // Программные продукты и системы. – 2012. – № 4 (100). – С. 153–155.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. Weiss E. N. AHP Design Issues for Large-Scale Systems / E. N. Weiss, V. R. Rao // Decision Science. – 1987. – Vol. 18 (1). – P. 43–61.
8. Руа Б. Классификация и выбор при наличии нескольких критериев / Б. Руа // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М. : Мир, 1976. – С. 80–107.
9. Hwang C. Multiple Attribute Decision Making / C. Hwang, K. Yoon. – Springer-Verlag, 1981. – 243 p.
10. Фишберн П. С. Теория полезности для принятия решений / П. С. Фишберн ; под ред. Н. Н. Воробьева. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
11. Arrow K. Social choice and individual values / K. Arrow. – New-York : John Wiley and Sons, 1951. – 378 p.
12. Roberts F. S. Discrete mathematical models with application to social, biological and environmental problems / F. S. Roberts. – New Jersey : Prentice Hall, 1976. – 316 p.
13. Kemeny J. G. Mathematical Models in the Social Sciences / J. G. Kemeny, J. I. Snell. – New-York : Blaisdel Publishing Co, 1962. – 416 p.

УДК 629.78

В.І. Присяжний, канд. техн. наук

І.М. Бутко, канд. техн. наук

В.В. Ожінський, канд. техн. наук

В.С. Мороз, заступник начальника оперативно-інформаційного центру
Національний центр управління та випробування космічних засобів, м. Київ, Україна

МОДЕЛЬ ВИЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ОДНОКАНАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

В.И. Присяжний, канд. техн. наук

И.Н. Бутко, канд. техн. наук

В.В. Ожинский, канд. техн. наук

В.С. Мороз, заместитель начальника оперативно-информационного центра
Национальный центр управления и испытаний космических средств, г. Киев, Украина

МОДЕЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ОДНОКАНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Volodymyr Prysiazhnyi, PhD in Technical Sciences

Ihor Butko, PhD in Technical Sciences

Victor Ozhinskyi, PhD in Technical Sciences

Viacheslav Moroz, Deputy Chief of the Operative-Information Centre
National Space Facilities Tests and Control Centre, Kyiv, Ukraine

SINGLE CHANNEL SATELLITE IMAGERY DATA VISUALIZATION MODEL

Запропоновано підхід до візуалізації монохромних супутникових зображень на основі адаптивних палітр кольорів, наведено алгоритм оброблення інформації. Показано результати оброблення зображень з використанням технологій на основі LUT характеристик.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, LUT характеристики, супутникові зображення.

Предложен подход к визуализации монохромных спутниковых изображений на основе адаптивных палитр цветов, приведен алгоритм обработки информации. Показаны результаты обработки изображений с использованием технологий на основе LUT характеристик.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, LUT характеристики, спутниковые изображения.