

УДК 621.791.9:519.81

**К.В. Заїчко,
М.А. Долгов,**

доктор технічних наук, доцент

АДАПТАЦІЯ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИБОРІ МАТЕРІАЛІВ ТА КОМПОНЕНТІВ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуто питання щодо адаптації методів прийняття рішень проведення вибору матеріалів та радіoeлектронних компонентів при створенні пристроїв різного призначення. Опрацьовано метод вагових характеристик у комбінації з методом нелінійної нормалізації даних та модифікованим методом цифрової логіки.

Ключові слова: вибір компонентів, багатокритеріальні методи прийняття рішень.

Рассмотрены вопросы адаптации методов принятия решений проведения выбора материалов и радиоэлектронных компонентов при создании устройств различного назначения. Опробован метод весовых характеристик в комбинации с методом нелинейной нормализации данных и модифицированным методом цифровой логики.

Ключевые слова: выбор компонентов, многокритериальные методы принятия решений.

The issues of the adapting of the methods of decision-making choice of materials and electronic components when creating devices for different purposes are considered. The method of weighting characteristics in combination with non-linear normalization method and modified data by digital logic is approved.

Keywords: choice of components, multi-criteria decision-making methods.

Постановка проблеми. Проведення вибору матеріалів, радіокомпонентів та функціональних модулів для майбутнього електронного приладу з найкращими характеристиками є важливим завданням при проведенні досліджень та під час створення нових радіoeлектронних пристроїв та засобів для потреб правоохоронної системи. Неправильний вибір компонентів, матеріалів, модулів, блоків матеріалів та окремих частин може призвести не тільки до небажаних наслідків, але й до значних матеріальних та інших витрат.

Існує багато характеристик матеріалів, радіoeлектронних компонентів та модулів, що мають різні одиниці вимірювання. Якщо кількість альтернативних компонентів незначна, а кількість їх характеристик не перевищує декілька одиниць, то виконання процедури порівняння та відповідно проведення наступного вибору може, на перший погляд, не викликати жодних ускладнень. Науковцями в роботі [1] проведено дослідження щодо визначення достатньої кількості характеристик з метою розгляду оптимального вибору матеріалів методом прийняття рішень. У цій роботі доводиться, що кількість характеристик має становити від 7 до 9 одиниць. Кожна характеристика має свою важливість стосовно інших. Необхідно

визначити відносну вагу характеристик, щоб мати змогу порівнювати матеріали. Нерідко для різних завдань характеристики можуть мати критичні значення. При такому обсязі різноманітної інформації розробник не в змозі самотійно без застосування відповідних методик провести правильний та оптимальний вибір. Порівнювати матеріали, радіокомпоненти, електронні чипи та інші складові можливо у випадку застосування і адаптації багатокритеріальних методів прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині запропонована достатня кількість методик щодо вибору матеріалів у різних галузях техніки. Існує багато методів прийняття рішень у галузі створення радіoeлектронних пристроїв. Дослідження стосуються цільових напрямів, наприклад, вибір програмованих логічних інтегральних схем під час проектування пристроїв цифрової обробки інформації [2]. Але скористатися подібними складними методиками, а тим більше адаптувати їх під завдання розробників не завжди можливо. Водночас упродовжується в дослідження широка гама простих методів (і їх модифікацій) із вибору матеріалів. Серед досліджень, які пов'язані з аналізом, порівнянням та застосуванням методів прийняття рішень варто звернути увагу на низку робіт [3; 4]. У зазначених дослідженнях показано різні підходи та методики визначення вагових характеристик, способів їх нормування, з наступною обробкою даних, визначенням індексів тощо. Відомі багатокритеріальні методи вибору матеріалів, що можуть бути адаптовані для відбору радіoeлектронних компонентів та матеріалів. Для числових характеристик, що задані в явній формі, може бути використано метод вагових характеристик у комбінації з методом нелінійної нормалізації та модифікованим методом цифрової логіки [5].

Викладення основного матеріалу та публікації. Вибір матеріалів та компонентів для побудови пристроїв на їх основі є важливим завданням у галузі радіoeлектроніки для правоохоронних органів. Спеціаліст-розробник при проведенні вибору компонентів і матеріалів користується інтуїтивно-суб'єктивним підходом на основі свого фахового досвіду. Розуміння переваг та вад експлуатаційних характеристик важливе, однак лише системний підхід може дати чітку відповідь на питання щодо оптимального рішення із вибору. Тому в роботі досліджено відомі методи прийняття рішень, які були апробовані та застосовуються в різних галузях виробництва.

Визначення конструкторсько-технологічних вимог є одним з перших кроків у процесі вибору. До основних рекомендацій, які можна надати при виборі електронних компонентів, слід віднести точність параметрів, надійність, довговічність, стійкість до умов оточуючого середовища та ін. У процесі вибору компонентів розглядаються значення числових характеристик, що можуть бути бенефіціарними та небенефіціарними. Як приклад, до бенефіціарних характеристик можна віднести розкид параметрів і термін напрацювання на відмовлення. До небенефіціарних характеристик можна віднести вартість, коефіцієнт гармонік та параметри шуму. Для характеристик, що задані в числовій формі, скористаємось відомим числовим методом для вибору, який засновано на визначенні вагових характеристик [4].

Метод вагових характеристик. Зазначений метод дозволяє ранжувати кандидати вибору на основі показників ефективності. Індекс ефективності визначається за формулою:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n Y_i \alpha_i, \tag{1}$$

де Y – нормоване значення характеристики i -го компоненту;
 α – ваговий коефіцієнт, n – загальна кількість компонентів.

Найкращий компонент або модуль має найбільший індекс ефективності. Кожна характеристика компоненту має свою вагу. Для порівняння важливості характеристик визначають ваговий коефіцієнт α з використанням методу цифрової логіки [2]. Для порівняння значень характеристик з різними одиницями вимірювань проводять процедуру – нормування, яка може бути як лінійною, так і нелінійною.

Метод цифрової логіки. Експерти в галузі створення радіоелектронних пристроїв або модулів визначають важливість характеристик, попарно їх порівнюють при аналізі усіх можливих поєднань. У попарному порівнянні одночасно порівнюються лише дві характеристики, далі кожен характеристику порівнюють по черзі з наступною. Для прикладу (див. табл. 1) є три характеристики A , B та C . Розпочнемо з характеристики A . Порівняємо характеристики A та B . Якщо характеристика A є більш важливою, ніж B , то для A присвоюємо зазначення один, а для B – нуль. Потім порівняємо характеристики A та C . Якщо C більш важливе в порівнянні з A , то присвоюємо C значення один, а A – нуль. Аналогічно проводимо порівняння з характеристиками B та C . Загальна кількість можливих рішень N визначається за формулою:

$$N = n(n - 1)/2, \tag{2}$$

де n – число характеристик, що порівнюють.

Ваговий коефіцієнт α для кожної характеристики визначають шляхом відношення кількості позитивних рішень до загальної кількості можливих рішень N . Сума усіх вагових коефіцієнтів дорівнює одиниці ($\sum \alpha = 1$). Ваговий коефіцієнт α визначають за формулою:

$$\alpha = N_{\text{позит.}} / N, \tag{3}$$

де $N_{\text{позит}}$ – кількість позитивних рішень.
Отриманні дані наведено до таблиці 1.

Таблиця 1

Приклад використання методу цифрової логіки

Характеристика	Можливі рішення $N = n(n - 1)/2$			Кількість позитивних рішень $N_{\text{позитив}}$	Ваговий коефіцієнт α
A	1		1	2	2/3
B	0	1		1	1/3
C		0	0	0	0

Метод лінійного нормування. Оскільки кожна характеристика має свої одиниці вимірювання, то для виконання подальшої процедури порівняння проводиться нормування в безвимірні одиниці з масштабуванням у деяких випадках. Перетворимо значення характеристик з масштабуванням таким чином, що максимальне значення характеристики не буде перевищувати значення 100. Для бенефіціарних характеристик – це відношення числового значення характеристики X до максимального значення X_{max} зазначеної характеристики, яке помножене на число 100:

$$Y = \frac{\text{числове значення характеристики}}{\text{максимальне значення характеристики}} \cdot 100 \quad (4)$$

Для небенефіціарної характеристики – це відношення мінімального значення характеристики X_{min} до поточного значення цієї характеристики, помножене на число 100:

$$Y = \frac{\text{мінімальне значення характеристики}}{\text{числове значення характеристики}} \cdot 100 \quad (5)$$

Метод модифікованої цифрової логіки. Метод цифрової логіки має суттєвий недолік. У цифровій логіці найменш важливій характеристиці надається значення нуль при усіх порівняннях, відповідно, позитивні рішення для такої характеристики та її ваговий коефіцієнт дорівнюватимуть нулю. Як наслідок, така характеристика буде виключена з розгляду процесу вибору об'єкта дослідження та не буде відігравати жодної ролі в процесі відбору. У модифікованому методі пропонується надавати для менш важливої характеристики значення одиниці, у випадку найбільш важливої характеристики – три. Значення два надається, коли характеристики однаково важливі. У модифікованому методі цифрової логіки відрізняється і формула розрахунку кількості можливих рішень:

$$N = 2n(n - 1) \quad (6)$$

Таблиця 2

Приклад використання методу модифікованої цифрової логіки

Характеристика	Можливі рішення			Кількість позитивних рішень $N_{\text{позитив}}$	Ваговий коефіцієнт α
A	3	2		5	5/12
B		2	3	5	5/12
C	1		1	2	2/12

Метод нелінійної нормалізації. Цей метод відрізняється від методу лінійної нормалізації, оскільки використовується нелінійна функція. За допомогою експертів визначають критичні значення характеристик X_k . При використанні

нелінійної функції для перетворення значень бенефіціарних характеристик використовують формулу:

$$Y = a_1 \ln(b_1 X + c_1) \quad (7)$$

та відповідно для небенефіціарних характеристик – формулу:

$$Y = a_2 \ln(b_2/X + c_2), \quad (8)$$

де a_1, a_2, b_1, b_2, c_1 та c_2 є константами.

Графіки функцій, які описані формулами (7) та (8), представлені на рис. 1. Для нелінійної нормалізації необхідно визначити константи.



Рис. 1. Графічне представлення функції нелінійної нормалізації для бенефіціарних характеристик

При розрахунках за формулою (7) необхідно врахувати граничні умови $Y = -100$ (при $X = 0$) та $Y = +100$ (при $X = X_{\max}$). Рівняння в графічному вигляді зображено на рис. 1. Не важко помітити, що необхідно для виконання іншої граничної умови визначення констант рівняння (7).

Це пов'язано з перетином кривої з віссю X параметра X_k , який дозволяє розробнику присвоїти критичне значення характеристики. Якщо X менше ніж X_k , то характеристика стає негативною (після нормалізації) і, таким чином, індекс ефективності γ знижується.

Третя гранична умова має вигляд $Y=0$ (при $X=X_k$). Виконання граничних умов дозволить обчислювати константи таким чином:

$$\begin{aligned} a_1 &= -100 / \ln(X_k / (X_{\max} - X_k)); \\ b_1 &= (X_{\max} - 2X_k) / X_k (X_{\max} - X_k); \\ c_1 &= X_k / (X_{\max} - X_k). \end{aligned} \quad (9)$$

Відповідно до запропонованих рівнянь функція нормованої та масштабованої характеристики є невизначеною при $X=X_{\max}/2$. Отриману функцію можна записати

у виді: $Y = (200X/X_{\max}) - 100$. Завершальне співвідношення для цього випадку буде мати такий вигляд: $Y=0$ (при $X=X_k$):

$$\begin{cases} Y = a_1 \ln(b_1 X + c_1) \text{ при } X_k \neq X_{\max}/2 \\ Y = (200X/X_{\max}) - 100 \text{ при } X_k = X_{\max}/2 \end{cases} \quad (10)$$

Аналогічний підхід можна застосувати для небенефіціарних характеристик. Рівняння (8) схематично представлено на рис. 2. Змінюються граничні умови $Y=+100$ (при $X=X_{\min}$) та $Y=-100$ (при $X \rightarrow \infty$). Критичним значенням для цієї характеристики є умова $X=X_k$ (при $Y=0$). Необхідні константи розраховуються таким чином:

$$\begin{aligned} a_2 &= -100 / \ln(-X_k / (X_{\min} - X_k)); \\ b_2 &= -X_k^2 + 2X_{\min} X_k / X_{\min} - X_k; \\ c_2 &= -X_{\min} / (X_{\min} - X_k). \end{aligned} \quad (11)$$

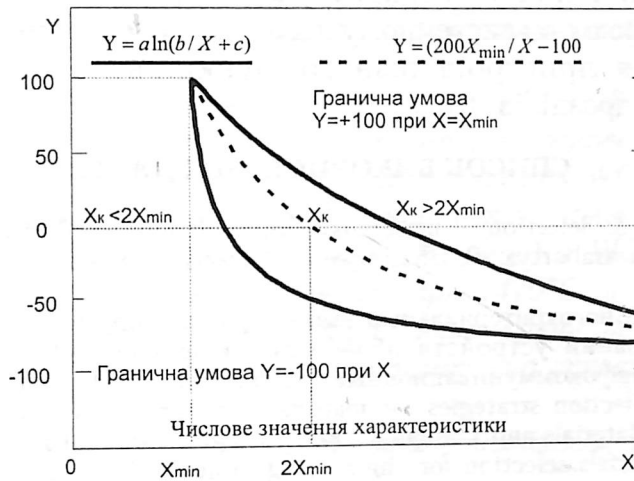


Рис. 2. Графічне представлення функції нелінійної нормалізації для небенефіціарних характеристик

Як і в попередньому випадку таку ж процедуру слід виконати для визначення форми масштабованої функції $Y = (200 X_{\min} / X_{\max}) - 100$ (при $X = 2X_{\min}$):

$$\begin{cases} Y = a_2 \ln(\frac{b_2}{X} + c_2) \text{ при } X_c \neq 2X_{\min} \\ Y = \frac{200X_{\min}}{X_{\max}} - 100 \text{ при } X_c = 2X_{\min} \end{cases} \quad (12)$$

Для зручності користування нормовані значення характеристик, що обраховані за формулами (10, 12), зводять до таблиці. Застосовуючи формулу (1), приймають рішення щодо матеріалу або компоненту за найвищим рівнем індексу ефективності.

Висновки. Запропоновано просту та адаптовану методологію використання методу прийняття рішень, яка буде корисною при виборі матеріалів, електронних компонентів при створенні пристроїв різного функціонального призначення для правоохоронної системи, в тому числі радіотехнічного напрямку. Перевага запропонованої методології полягає в тому, що фахівець-розробник за наявності відповідного досвіду має змогу визначити вагу характеристик, провести нормування та визначити індекс ефективності без залучення складного математичного апарату, також за необхідності додавати при проведенні вибору нові характеристики. Використання поєднання методів нелінійної нормалізації з методом визначення індексу ефективності дає кращі результати з прийняття рішень, оскільки має більшу чутливість.

Базуючись на описаній методиці, проведено практичну апробацію із вибору матеріалів для нанесення захисних покриттів поверхонь для модулів радіотехнічних виробів. Застосовувати методи прийняття рішень можна не тільки для вибору компонентів (матеріалів), але й для функціональних модулів, пристроїв різного призначення, що плануються до експлуатації для правоохоронних підрозділів, з урахуванням особливих вимог, які мають бути відображені у вигляді додаткових характеристик.

Отже, використання багатокритеріальних методів прийняття рішень є важливою процедурою при системному підході із вибору матеріалів та компонентів під час створення пристроїв різного функціонального призначення для правоохоронних підрозділів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Chakrabortya S.* Selection of materials using multi-criteria decision-making methods with minimum data / S. Chakrabortya, P. Chatterjeeb // *Decision Science Letters*. – 2013. – V. 2. – P. 135–148.
2. *Турыгин И.Г.* Многокритериальный выбор программируемых логических интегральных схем при проектировании устройств обработки цифровой информации / И.Г. Турыгин, О.С. Литвинская // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 58 – 62.
3. *Ashby M.F.* Selection strategies for materials and processes / M.F. Ashby, YJM Brechet, D. Cebon, L. Salvo / *Materials and Design*. – 2003. – V. 25. – P. 51–67.
4. *Farag M.* Materials selection for engineering design / M. Farag; New York, NY: Prentice-Hall, – 1997. – 432 P.
5. *Dehghan-Manshadi B.* A novel method for materials selection in mechanical design: Combination of non-linear normalization and a modified digital logic method / B. Dehghan-Manshadi, H. Mahmudi, A. Abedian, R. Mahmudi // *Materials and Design*. – 2007. – V. 28. – P. 8–15.

Отримано 25.04.2016

Рецензент Марченко О.С., к.т.н.