

УДК 621.395

В. Ф. ФРОЛОВ, доктор техн. наук, професор;

Л. А. КИРПАЧ, канд. техн. наук, доцент;

О. Ю. ІЛЬІН, доктор техн. наук, професор;

К. П. СТОРЧАК, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ВИКОРИСТАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ КРИТЕРІЇВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

Запропоновано методику узагальнення критеріїв ефективності, використовуваних при проектуванні супутникових систем, яка враховує, зокрема, технічні та економічні аспекти критеріїв однієї розмірності та методи експертних оцінок.

Ключові слова: критерій ефективності; інтегральний критерій; альтернатива; адитивне і мультиплікативне перетворення; експертна оцінка.

Вступ

Супутникові системи зв'язку належать до тих телекомунікацій, що найбільш динамічно розвиваються і знаходять найширше застосування в усіх сферах людської діяльності.

З огляду на комплексність завдань, що постають при проектуванні супутникових телекомунікаційних систем, як і будь-яких інших складних систем автоматизованого управління, проблематика, пов'язана з формуванням критеріїв для аналізу і синтезу таких систем, виокремилась як науковий напрямок, важливість якого дедалі зростає.

Основна частина

На етапі проектування супутникових систем при побудові узагальнених критеріїв ефективності виникають численні труднощі, зумовлені взаємною неузгодженістю, а часом і суперечливістю зазначених критеріїв. Вибраний критерій (система критеріїв) слугує основою для прийняття рішення про вибір структури, алгоритмів складної системи з деякої множини альтернатив.

Загальна постановка задачі з прийняття рішення набирає такого вигляду.

1. Існує деяка множина A альтернатив (варіантів побудови системи), причому кожна альтернатива a характеризується певною сукупністю властивостей a_1, a_2, \dots, a_n .

2. Існує сукупність $q = (q_1, q_2, \dots, q_l, \dots, q_n)$ критеріїв, що відображають кількісно множину властивостей системи, тобто кожна альтернатива характеризується вектором

$$q(a) = [q_1(a), q_2(a), \dots, q_l(a), \dots, q_n(a)].$$

3. Необхідно прийняти рішення про вибір однієї з альтернатив (варіанта), причому рішення називається *простим*, якщо вибір виконується за одним критерієм, і *складним*, якщо вибрана альтернатива не є найкращою за жодним одним критерієм, але може виявитися найбільш прийнятною для всієї їх сукупності.

4. Задача з прийняття рішення щодо вибору альтернативи на множині критеріїв формально зводиться до пошуку відображення φ , яке кожному вектору q ставить у відповідність дійсне число:

$$E = \varphi(q) = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n), \quad (1)$$

що визначає ступінь переваги даного рішення.

Оператор φ називають *інтегральним (узагальненим) критерієм*. Інтегральний критерій присвоює кожному рішення з вибору альтернативи відповідне значення ефективності E . Це дозволяє впорядкувати множину рішень за ступенем ефективності.

Розглянемо основні групи методів формування узагальнених критеріїв.

До *першої групи* віднесемо методи, згідно з якими один із критеріїв, скажімо q_k , береться як узагальнений, а всі інші враховуються у вигляді обмежень, що визначають *область допустимих альтернатив*:

$$\begin{aligned} E = q_k; q_i &\geq q_i^{(0)}, i = 1, 2, \dots, l; \\ q_i &\leq q_i^{(0)}, i = l + 1, l + 2, \dots, n; i \neq k. \end{aligned} \quad (2)$$

де $q^{(0)} = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_n^{(0)})$ — вектор, який визначає допустимі значення за всіма критеріями.

У цьому разі задача з порівняння альтернатив за векторним критерієм ефективності зводиться до задачі з прийняття рішення за скалярним критерієм. Альтернативи, які не вкладаються в задані межі, відразу ж відкидаються як неконкурентоспроможні.

У такій інтерпретації задача з прийняття оптимального рішення при виборі альтернативи формулюється як задача *математичного програмування*:

$$\begin{aligned} \max_{a \in A} [q_k(a)] \text{ або } \min_{a \in A} [q_k(a)], \\ q_i(a) &\geq q_i^{(0)}, i = 1, 2, \dots, l; \\ q_i(a) &\leq q_i^{(0)}, i = l + 1, l + 2, \dots, n; i \neq k. \end{aligned} \quad (3)$$

Залежно від вигляду функцій $q_k(a)$, $q_i(a)$ і множини A для розв'язання задачі з вибору оптимальної альтернативи використовуються методи лінійного, зокрема цілочислового, нелінійного, дискретного, динамічного програмування.

Згідно з таким підходом:

а) вибір варіанта побудови системи, наприклад автоматизованої інформаційної системи управління, може здійснюватись за таким критерієм: *час відповіді на запит користувача мінімальний*; коефіцієнт, що характеризує простоту системи, не вищий від заданого; сумарна вартість створення та експлуатації — не вища від заданої;

б) вибір варіанта побудови системи, наприклад системи контролю деякого обладнання, може здійснюватись за таким критерієм: *вірогідність результатів контролю максимальна*; швидкодія системи контролю не нижча від заданої; сумарна вартість створення та експлуатації системи — не вища від заданої.

Основним недоліком цього підходу є те, що альтернативи оцінюються тільки за одним критерієм, а значення інших критеріїв, якщо вони задовольняють обмеження, не враховуються. Перевага — порівняна простота побудови критерію.

До *другої групи* віднесемо методи, згідно з якими узагальнений показник ефективності будують на основі використання *адитивних і мультиплікативних перетворень* вибраної системи частинних критеріїв q_i . У разі адитивних перетворень маємо:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n b_i q_i, \quad (4)$$

де коефіцієнти b_1, b_2, \dots, b_n — додатні або від'ємні числа, причому додатні ставлять при тих критеріях, які бажано максимізувати, а від'ємні — при тих, які бажано мінімізувати за умови, що розраховується E_{\max} .

Адитивне перетворення для побудови інтегрального критерію ефективності часто використовується, якщо об'єднання різних окремих критеріїв можливе на економічній основі і порівняння альтернатив виконується переважно за економічним критерієм.

У разі використання мультиплікативного перетворення узагальнений критерій формується в такий спосіб:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \prod_{i=1}^n q^{\lambda_i}, \quad (5)$$

де λ_i — деякі дійсні числа.

Розглянемо приклад. Узагальнений критерій техніко-економічної ефективності складних систем може бути побудований з таких міркувань. Нехай $q_1 = T$, $q_2 = n(T)$, $q_3 = s(T)$, де T — час живучості системи, тобто її повний робочий час; $n(T)$ — обсяг роботи, яку виконує система за час її живучості в перерахунку на кількість операцій

типового набору; $s(T)$ — сумарні витрати на виготовлення, амортизацію та експлуатацію системи за час T . Тоді *узагальнений критерій ефективності системи*, що враховує і технічну, і економічну ефективність, можна подати у вигляді

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \frac{q_3}{q_1 q_2 q_1^{-1}}, \quad (6)$$

де добуток $q_2 q_1^{-1}$ характеризує ефективну швидкодію системи, причому є *узагальненим критерієм* оцінювання її технічної ефективності і залежить від її найважливіших технічних характеристик — множини операцій, номінальної швидкодії, ємності пам'яті, надійності, швидкості роботи пристроїв вводу-виводу.

Недоліком адитивних і мультиплікативних перетворень є те, що існує необмежена можливість компенсації. Для її зменшення вводяться обмеження, що визначають найменше (найбільше) допустиме значення окремих критеріїв оптимальності, і пошук оптимальної альтернативи здійснюється на множині альтернатив, які задовольняють ці обмеження. У разі, якщо критерії q_i набувають лише значень 0 і 1, їх об'єднання може бути виконано за аналогією з адитивним і мультиплікативним перетворенням на основі логічних операцій типу диз'юнкції і кон'юнкції.

До *третьої групи* віднесемо методи, згідно з якими побудова узагальненого критерію базується на тому, що узагальнена якість альтернатив оцінюється відстанню між ідеальною альтернативою і тією, яка розглядається, і чим ближча якість альтернативи, що розглядається, до ідеальної, тим вона краща. Як ідеальну зазвичай беруть альтернативу, якій відповідає вектор

$$q = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_n^{(0)}), \quad (7)$$

компонентами якого є максимальні значення тих критеріїв оптимальності, які максимізуються, і мінімальні значення тих критеріїв, які мінімізуються. Тоді *узагальнені критерії* можуть бути сформульовані у вигляді:

а) суми абсолютних відхилень від ідеальної альтернативи для окремих критеріїв однієї розмірності:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^l (q_i^{(0)} - q_i) + \sum_{i=l+1}^n (q_i - q_i^{(0)}), \quad (8)$$

де $q_i (i = 1, 2, \dots, l)$ — окремі критерії оптимальності, які підлягають максимізації;

$q_i (i = l + 1, l + 2, \dots, n)$ — окремі критерії оптимальності, які підлягають мінімізації;

б) суми відносних відхилень для окремих критеріїв різної розмірності:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^l \frac{q_i^{(0)} - q_i}{q_i^{(0)} - q_i^{\min}} + \sum_{i=l+1}^n \frac{q_i - q_i^{(0)}}{q_i^{\max} - q_i^{(0)}}, \quad (9)$$

де q_i^{\min}, q_i^{\max} — відповідно найменше значення критерію, що максимізується, і найбільші значен-

ня критерію, що мінімізується по всій множині альтернатив;

в) найбільшого абсолютного відхилення від ідеальної альтернативи для окремих критеріїв однієї розмірності:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \max_i |q_i^{(0)} - q_i|; \quad (10)$$

г) найбільшого відносного відхилення від ідеальної альтернативи для окремих критеріїв різної розмірності:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \max_{i,j} \left(\frac{q_i^{(0)} - q_i}{q_i^{(0)} - q_i^{\min}}, \frac{q_j - q_j^{(0)}}{q_j^{\max} - q_j^{(0)}} \right), \quad (11)$$

$i = 1, 2, \dots, l; j = l + 1, l + 2, \dots, n.$

Зауважимо, що критерії (8) і (9) мають необмежені можливості компенсації, а критерії (10), (11) на дискретних множинах альтернатив можуть дати хибні результати вибору.

Варто наголосити, що розглянуті способи побудови інтегральних критеріїв на основі формальних правил не враховують корисності окремих критеріїв q_i , задіяних при виборі альтернативи.

До *четвертої групи* віднесемо методи, в яких згідно з теорією корисності об'єднання критеріїв q_i найчастіше виконується на основі адитивного перетворення:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n b_i q_i. \quad (12)$$

Проте в цьому разі значення коефіцієнтів b_i відбивають корисність (цінність) критерію q_i , коли йдеться про прийняття складного рішення з вибору альтернативи. Визначення відповідних значень виконується в результаті попереднього опитування групи з m експертів — фахівців у відповідній галузі. Один із можливих шляхів отримання цих значень полягає ось у чому.

Кожний j -й експерт спочатку визначає набір чисел C_{ij} , що відбивають його думку про відносну цінність i -го критерію (числа C_{ij} подаються в довільному масштабі, а далі зазнають потрібного масштабування). У результаті маємо:

$$b_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}; \quad \sum_{i=1}^n b_{ij} = 1. \quad (13)$$

Остаточні значення коефіцієнтів b_i обчислюються усередненням значень b_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m$), отриманих від усіх експертів. Якщо компетентність експертів у групі вважається однаковою, то

$$b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m b_{ij}. \quad (14)$$

Якщо ж компетентність j -го експерта оцінюється числом g_j , $\sum_{j=1}^m g_j = 1$, то

$$b_i = \sum_{j=1}^m g_j b_{ij}. \quad (15)$$

Висновки

При проектуванні супутникових систем пропонується методика враховує низку критеріїв:

- ◆ інтегральний критерій;
- ◆ критерій ефективності на основі узагальненого показника ефективності;
- ◆ критерій однієї розмірності при виборі ідеальної альтернативи щодо структури системи;
- ◆ критерій методу експертних оцінок.

Методика буде корисна інженерам-проектувальникам супутникових систем, а також аспірантам і докторантам при проведенні дослідницьких робіт, пов'язаних із використанням узагальнених критеріїв.

Список використаної літератури

1. Стеклов В. К., Карпенко Н. Ф., Беркман Л. Н. Многокритериальная оптимизация систем управления телекоммуникационными сетями // Зв'язок. 1999. № 6. С. 26–28.
2. Стеклов В. К., Стародуб Н. М., Беркман Л. Н. Выбор обобщённого критерия оптимальности систем управления информационными сетями // Зв'язок. 2000. № 5. С. 48–50.
3. Беркман Л. Н., Стеклов В. К., Кільчицький Є. В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: навч. посіб. Київ, 2004. 576 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор К. С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

В. Ф. Фролов., Л. А. Кирпач, А. Ю. Ильин, К. П. Сторчак

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Представлена методика обобщения критериев эффективности, используемых при проектировании спутниковых систем, учитывающая, в частности, технические и экономические аспекты критериев одной размерности и методы экспертных оценок.

Ключевые слова: критерий эффективности; интегральный критерий; альтернатива; аддитивное преобразование; экспертная оценка.

V. F. Frolov., L. A. Kirpach, A. Yu. Ilyin, K. P. Storchak

USE OF GENERALIZED CRITERIA AT DESIGNING SATELLITE SYSTEMS

The article presents a methodology for generalized criteria for the design of satellite systems, taking into account the efficiency criteria, which includes the technical and economic effects of the same dimension and methods of expert evaluation.

Keywords: efficiency criterion; integral criterion; alternative; additive transformation; expert evaluation.