

УДК 621.395

Л. А. КИРПАЧ, канд. техн. наук, доцент;  
 Г. М. ВЛАСЕНКО, канд. техн. наук, доцент;  
 І. М. СРІБНА, канд. техн. наук, доцент,  
 Державний університет телекомунікацій, Київ

## МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

**Досліджено методи експертних оцінок для визначення критеріїв ефективності складних систем — розв'язання однієї з найважливіших і сутнісних задач при їх оптимізації. Розглянуто основні методи формування суб'єктивних оцінок і наведено приклади їх використання.**

**Ключові слова:** оптимальна система; критерій ефективності; адитивне перетворення; експертна оцінка; ранжування; безпосередня оцінка; послідовні переваги.

### Вступ

Однією з характерних тенденцій розвитку сучасного суспільства є поява великих і надзвичайно складних технічних систем, до класу яких належать і системи супутникового зв'язку. Для визначення оптимальної структури системи і значень її параметрів, а також для впевненості в тому, що саме даний варіант системи відповідає меті її розробки і має необхідну ефективність, потрібно провести певні дослідження.

За умов інноваційних процесів, невіддільних від упровадження прогресивних телекомунікаційних технологій, застосування кількісних методів для аналізу та прогнозування якісних змін обмежує можливість щодо отримання достатньої інформації. Передусім це стосується випадків, коли доводиться давати перспективну оцінку якісно нових процесів, притаманних складним системам. Тоді особливої актуальності та практичної цінності набуває розробка відповідних прогнозів. Адже лише в такий спосіб можна дещо знизити рівень невизначеності та ризику управлінських рішень, підвищивши їх достовірність.

Успішне розв'язання згаданих проблем, навіть за відсутності теоретичних обґрунтувань, досягається завдяки вмінню поєднати досвід, інтуїцію та знання відповідних фахівців, використанню методів, які спираються на припущення про те, що на базі думок спеціалістів у певній галузі знань можна побудувати адекватну картину майбутнього її розвитку з урахуванням усіх непередбачуваних збурень, тобто *методів експертизи*, або *експертних оцінок*.

### Основна частина

Головним показником якості роботи будь-якої системи є *критерій оптимальності*, що дає змогу визначити ступінь близькості стану системи до оптимального її стану.

При побудові *узгальненого критерію Е ефективності системи* згідно з теорією корисності об'єднання критеріїв  $q_i$  найчастіше виконується за допомогою адитивного перетворення [2]:

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

У цьому разі значення коефіцієнтів  $b_i$  характеризують цінність критерію  $q_i$  при прийнятті складного рішення стосовно вибору альтернативи. Розрахунок їхніх значень виконується за результатами попереднього опитування групи з  $m$  експертів — фахівців у даній галузі. Кожний  $j$ -й експерт спочатку визначає набір чисел  $C_{ij}$ , що відбивають його думку про відносну цінність  $i$ -го критерію. Остаточні значення коефіцієнтів  $b_i$  знаходимо, здійснюючи масштабування та усереднення значень  $b_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , отриманих від усіх експертів.

При формуванні ситуацій, цілей, обмежень і варіантів рішень із боку тих осіб, що приймають рішення, експерти виконують об'єктивні і суб'єктивні вимірювання характеристик достовірності, важливості та переваги. Для виконання суб'єктивних вимірювань застосовують різні методи, але здебільшого йдеться про *ранжування, парне порівняння, безпосереднє оцінювання та послідовне порівняння*.

Спинимось на методах формування коефіцієнтів  $C_{ij}$ , що відбивають думку  $j$ -го експерта про цінність  $i$ -го критерію. Надалі виходимо з припущення, що спочатку кожний експерт здійснив ранжування всіх критеріїв, тобто впорядкував їх згідно з відносною цінністю так, що перше місце посідає головний критерій.

**Метод ранжування.** Відповідно до цього методу нумеруються всі критерії отриманого ряду, причому нерозрізнені критерії, що опинилися на одному місці, нумеруються в довільному порядку. У результаті

такої процедури кожний критерій отримує свій номер. Ранг критерію визначається його номером, якщо на його місці в ряду немає жодних інших критеріїв. Якщо на одне місце потрапляє кілька нерозрізнених критеріїв, то ранг кожного з них дорівнює середньому арифметичному їхніх нових номерів.

**Приклад.** Нехай маємо ряд упорядкованих критеріїв  $q_1, q_2, \dots, q_s$  для  $j$ -го експерта:

$$q_3; \left| \begin{array}{c} q_5 \\ q_6 \end{array} \right|; \left| \begin{array}{c} q_2 \\ q_4 \end{array} \right|; q_8; q_7; q_1. \quad (2)$$

Ранги критеріїв, обчислені згідно з описаною процедурою, зведено в табл. 1.

Таблиця 1

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$r_{ij}$	8,0	4,5	1,0	4,5	2,5	2,5	7,0	6,0

Перехід від рангів до коефіцієнтів  $C_{ij}$  виконується на основі гіпотези про лінійну залежність між рангом і відносною цінністю критерію. Чим нижчий ранг, тим більш важливим є відповідний критерій. Коефіцієнти  $C_{ij}$  для будь-якого  $r_{ij}$  ( $1 \leq r_{ij} \leq h$ ):

$$C_{ij} = 1 - \frac{r_{ij} - 1}{n}. \quad (3)$$

Для розглянутого прикладу коефіцієнти  $C_{ij}$  зведено в табл. 2.

Таблиця 2

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8
$C_{ij}$	0,125	0,433	1,000	0,433	0,812	0,812	0,250	0,375

Зауважимо, що згідно з гіпотезою про лінійну залежність між рангом і відносною цінністю критерію дістаємо доволі грубі оцінки  $C_{ij}$ . Проте цим самим визначається їхня порівняно висока достовірність.

**Метод безпосереднього оцінювання.** В основу цього методу покладено менш жорстку гіпотезу про спадну (але не обов'язково лінійну) залежність між рангом і відносною цінністю критерію. Спочатку кожний  $j$ -й експерт виконує упорядкування всіх критеріїв відповідно до щойно розглянутої процедури. Після цього він евристичним шляхом дає числову оцінку відносної корисності критерію порівняно з головним, якому присвоюється значення, що дорівнює одиниці. Усім нерозрізненим критеріям присвоюються однакові значення  $C_{ij}$ . У результаті кожному критерію в упорядкованому ряду замість рангів відразу присвоюються числа  $C_{ij}$ , сукупність яких має утворити незростаючу послідовність. Завдяки методу безпосереднього оцінювання вдається більш диференційовано підходити до встановлення важливості окремих критеріїв, але при цьому знижується достовірність здобутої інформації.

**Метод послідовних переваг.** Алгоритм послідовних переваг призначено для підвищення достовірності інформації, отримуваної від експертів методом безпосереднього оцінювання. Він дозволяє кожному експерту проконтролювати власні судження на основі зіставлення трьох підходів: ранжування критеріїв, числового оцінювання їхньої цінності та порівняння  $(n - 2)$  пар спеціально підібраних абстрактних об'єктів.

Остання процедура, що розкриває сутність методу послідовних переваг, спирається на таку гіпотезу [3].

*Якщо цінність  $i$ -го критерію стосовно об'єкта деякого класу для  $j$ -го експерта є  $C_{ij}$ , то цінність об'єкта за всіма критеріями визначається як сума виду  $\sum_{i=1}^n C_{ij}$ .*

У процесі коригування оцінок експерт повинен відповісти на ряд майже дихотомічних запитань такого виду:

Для  $i = 1, 2, \dots, (n - 2)$  який із двох об'єктів кращий — той, що задовольняє лише  $i$ -й критерій, чи той, який задовольняє сукупність з  $(i + 1, i \pm 2, \dots, n)$  критеріїв?

Залежно від отриманої відповіді на  $i$ -те запитання постає одне з трьох співвідношень

$$C_{ij}R \sum_{k=i+1}^n C_{kj}, \text{ де відношення } R \in [ >, <, = ]. \quad (4)$$

Звідси дістаємо  $(n - 2)$  умови:

$$C_{1j}R \sum_{k=2}^n C_{kj}; C_{2j}R \sum_{k=3}^n C_{kj}, \dots, C_{n-2,j}R(C_{n-1,j} + C_{n,j}). \quad (5)$$

Далі послідовно перевіряємо кожну з цих умов, починаючи з останньої, на відповідність раніше вибраним оцінкам  $C_{ij}$  і їх ранжуванню. При виявленні суперечностей в  $i$ -й умові експерт повинен або змінити знак відношення  $R$ , або скоригувати значення  $C_{ij}$ . В останньому випадку він має переконатися в тому, що не було порушено початкового ранжування критеріїв. У разі порушення його ранжування

необхідно або змінити порядок критеріїв, або скоригувати значення  $C_{ij}$ . Після виправлення останньої оцінки  $C_{ij}$  її значення може відрізнитися від одиниці. Зауважимо, що в цьому разі психологічні обмеження не дозволяють використовувати метод послідовних переваг, коли кількість розглядуваних критеріїв перевищує сім.

**Приклад.** Нехай той чи інший експерт виставив ряд коефіцієнтів  $C_{ij}$ , що відбивають його думку про відносну цінність шести окремих критеріїв стосовно деякого об'єкта (табл. 3).

Таблиця 3

$i$	1	2	3	4	5	6
$C_i$	1,0	0,9	0,7	0,6	0,3	0,1

Для уточнення оцінок коефіцієнтів  $C_i$  експерту пропонується порівняти чотири пари абстрактних об'єктів. Кожному об'єкту відповідає вектор

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_6), \quad (6)$$

де  $x_i = 0$  або  $x_i = 1$ : 1 — корисність  $i$ -го критерію враховується, 0 — його корисність не враховується; тоді маємо такі співвідношення:

- 1) (100000) гірше за (011111);
- 2) (010000) краще за (001111);
- 3) (001000) гірше за (000111);
- 4) (000100) краще за (000011).

Несуперечливість прийнятих рішень має підтверджуватись системою нерівностей:

$$1) C_1 < \sum_{k=2}^6 C_k; \quad 2) C_2 > \sum_{k=3}^6 C_k; \quad 3) C_3 < \sum_{k=4}^6 C_k; \quad 4) C_4 > C_5 + C_6. \quad (7)$$

Перевірку нерівностей починаємо з останньої (четвертої). Третя і четверта нерівності виконуються, друга — ні; отже, необхідно скоригувати значення коефіцієнта  $C_2$ . Візьмемо значення  $C_2 = 2$ .

Утім водночас необхідно змінити значення  $C_1$  таким чином, щоб, по-перше, зберігався початковий порядок критеріїв, визначений експертом, тобто  $C_1 > C_2$ , і, по-друге, виконувалась перша нерівність. Беремо, наприклад, значення  $C_1 = 2,5$ .

У результаті застосування методу послідовних переваг дістали несуперечливий ряд оцінок (табл. 4), які надалі необхідно масштабувати.

Таблиця 4

$i$	1	2	3	4	5	6
$C_i$	2,5	2,0	0,7	0,6	0,3	1,0

Після розгляду цих методів постає природне запитання: наскільки можливо довіряти результатам оцінювання коефіцієнтів  $C_{ij}$ , отриманих на підставі суб'єктивних думок експертів? Достовірність результатів експертного аналізу характеризується, як правило, ступенем взаємоузгодженості даних експертами оцінок.

Для кількісного оцінювання ступеня узгодженості часто використовують *коефіцієнт конкордації*

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (8)$$

де  $S = \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m r_{ij} - 0,5m(n+1) \right]^2$ ;  $r_{ij}$  — місце, яке зайняла  $i$ -та властивість у ранжуванні, виконаному  $j$ -м експертом.

### Висновки

Однією з найважливіших задач при оптимізації складних систем є визначення основних показників системи, які характеризують її якість. Розглянуті методи оцінювання ефективності з використанням інтуїтивно-логічного аналізу дозволять значно поглибити дослідження проблем оптимізації без їх кількісної формалізації. Достовірність результатів експертного аналізу характеризується, здебільшого, ступенем взаємоузгодженості даних експертами оцінок.

### Список використаної літератури

1. **Степков В. К., Карпенко Н. Ф., Беркман Л. Н.** Многокритериальная оптимизация систем управления телекоммуникационными сетями // *Зв'язок*. 1999. №6. С. 26–28.
2. **Фролов В. Ф., Кирпач Л. А., Гльїн О. Ю.** Використання узагальнених критеріїв при проектуванні супутникових систем // *Зв'язок*. 2018. №1. С. 9–11.
3. **Орлов А. И.** Экспертные оценки: учеб. пособие. Москва, 2002.

4. Беркман, Л. Н., Стеклов В. К., Кільчицький Є. В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. Київ: Техніка, 2004. 576 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор С. В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Л. А. Кирпач, Г. Н. Власенко, И. Н. Срибная

### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Исследованы методы экспертных оценок для определения критериев эффективности сложных систем как одной из важнейших и существенных задач при их оптимизации. Рассмотрены основные методы формирования субъективной оценки, приведены примеры их использования.

**Ключевые слова:** оптимальная система; критерий эффективности; аддитивное преобразование; экспертная оценка; ранжирование; непосредственная оценка; последовательные преимущества.

L. A. Kyrpach, G. M. Vlasenko, I. M. Sribna

### METHODS OF ESTIMATION OF CRITERIA OF EFFICIENCY OF SATELLITE SYSTEMS

One of the characteristic trends in the development of modern society is the emergence of large, extremely complex systems, to which class satellite systems also belong. To determine the optimal structure of the system, it is necessary to conduct a series of researches. In the development of modern telecommunication technologies, the use of quantitative methods for the analysis and prediction of qualitative changes limits the possibility of obtaining sufficient information. This is especially true in cases when it is necessary to give a perspective assessment of qualitatively new processes occurring in complex systems. In such circumstances, the development of forecasts becomes relevant, because only in this way can somehow reduce the level of uncertainty and risk and, accordingly, increase the reliability of management decisions.

Possibility of solving these problems, even in the absence of theoretical justification, is achieved through the skillful use of the experience and knowledge of specialists working on the solution of the relevant issues. These methods based on the assumption that, based on the views of specialists in a certain field of knowledge, one can build an adequate picture of future development, taking into account all possible changes-methods of expertise or expert appraisal methods.

The article is devoted to methods of expert evaluations for determining the criteria of the effectiveness of complex systems, which is one of the most important problems in their optimization. The basic methods of forming subjective evaluation on the basis of intuitive-logical analysis of optimization problems without their quantitative formalization are considered.

**Keywords:** complex system; optimal structure; efficiency criterion; additive transformation; criterion value; expert evaluation; ranking; direct evaluation; sequent advantages.

УДК 658.5.012.7

Ю. В. МЕЛЬНИК, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник;

В. Л. ПАРХОМЕНКО, канд. техн. наук;

В. В. ПАРХОМЕНКО, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## Обмеження на достовірність обробки інформації в телекомунікаційній системі та критерій для порівняння конкурентоспроможних її варіантів

**Досліджено процес формування обмежень на достовірність обробки інформації в телекомунікаційних системах при розв'язанні формалізованої задачі побудови раціональної системи, а також подано критерій для порівняння конкурентоспроможних варіантів такої системи.**

**Ключові слова:** телекомунікаційна система; параметри; обмеження; достовірність; надійність; швидкість обробки інформації; функціональний перетворювач інформації; критерій.

### Вступ

Процес обробки заданого обсягу інформації в телекомунікаційній системі можна подати у вигляді послідовно з'єднаних функціональних перетворювачів (ФП). Під ФП розуміємо пристрої реєстрації, попередньої обробки інформації, апаратуру передавання даних, пристрої комутації, вводу та обробки інформації. Загалом зазначений ланцюжок послідовно з'єднаних функціональних перетворювачів визначимо як *систему обробки інформації (СОІ)*. Дослідимо вплив послідовно з'єднаних функціональних перетворювачів на достовірність обробки інформації в СОІ. Однією з найважливіших характеристик перетворювача інформації є *достовірність вихідної інформації* [1; 2].

© Ю. В. Мельник, В. Л. Пархоменко, В. В. Пархоменко, 2018