

УДК 338.984:519.6

В. М. БЕЗРУК, доктор техн. наук, профессор;

Ю. В. СКОРИК,

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

*Средства телекоммуникации (системы, приборы, технологии), являются важными компонентами современных инфокоммуникаций. Рассматриваются особенности выбора предпочтительного проектного варианта средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества и суждений экспертов на основе метода анализа иерархий.*

*Требования строгого учета противоречивых показателей качества возникают при выборе предпочтительных проектных вариантов систем. Это определяет необходимость использования методов многокритериальной оптимизации при выборе оптимальных проектных решений из множества допустимых вариантов.*

*Научная новизна работы заключается в применении метода анализа иерархий для сравнительного анализа и выбора предпочтительного варианта для телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества и суждений экспертов. Решение многокритериальных задач оптимизации состоит, в общем случае, в поисках не одного, а некоторого множества Парето-оптимальных решений, которые могут быть использованы при проектировании. Для сужения множества Парето до одного предпочтительного варианта предлагается использовать метод анализа иерархий, основанный на строгой формализованной обработке суждений экспертов.*

*Исследованы особенности выбора предпочтительного варианта методом анализа иерархий для различных типов телекоммуникационных средств, в частности, для цифровых систем связи с разным типом модуляции, различных версий построения сети мобильной связи 3-го поколения, различных технологий мобильных сетей 4-го поколения, различных типов речевых кодеков.*

*Изучены теоретические и практические аспекты применения метода анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта разных типов средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества и формализованной обработки суждений экспертов.*

**Ключевые слова:** средства телекоммуникаций; многокритериальная оптимизация; Парето-оптимальные решения; выбор предпочтительного варианта; метод анализа иерархий.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Средства телекоммуникаций (системы, устройства, технологии) являются важными компонентами современных инфокоммуникаций [1; 2]. При выборе их проектных вариантов возникают требования строгого учета совокупности противоречивых показателей качества. Это определяет необходимость применения методов многокритериальной оптимизации при выборе оптимальных проектных решений из множества допустимых вариантов [2-4].

Решением задач многокритериальной оптимизации является нахождение, в общем случае, не одного, а некоторого множества Парето-оптимальных решений, которые могут быть использованы при проектировании [3; 4]. Часто для дальнейших этапов создания инфокоммуникационных сетей требуется выбирать единственный предпочтительный вариант средств телекоммуникаций. Для сужения множества Парето до единственного проектного решения могут быть использованы разные методы, основанные на привлечении некоторой дополнительной субъективной информации в виде суждений экспертов. Как показывает сравнительный анализ их эффективности [5], во многих практических ситуациях для этого рационально использовать метод анализа иерархий (МАИ) [6].

В данной статье рассматриваются особенности выбора единственного предпочтительного варианта средств телекоммуникаций с использованием МАИ. Приводятся примеры применения МАИ для сравнительного анализа и выбора предпочтительного варианта для разных типов средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества и суждений экспертов.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

#### *Особенности метода анализа иерархий*

Метод анализа иерархий состоит в декомпозиции проблемы выбора единственного проектного варианта некоторой системы на простые составляющие части и получении суждений экспертов по парным сравнениям различных элементов проблемы выбора [6]. В результате обработки полученных численных данных суждений экспертов согласно некоторой математической процедуры получают компоненты глобального вектора приоритетов, компоненты которого характеризуют приоритетность выбора вариантов проектируемой системы и определяют выбор единственного варианта системы.

© В. М. Безрук, Ю. В. Скорик, 2019

Декомпозиция предусматривает структурирование проблемы выбора в виде иерархии уровней, что является первым этапом применения МАИ. Наиболее общий вид иерархии проблемы выбора, которая строится с вершины (цель выбора) через промежуточные уровни (показатели качества системы) к самому низкому уровню (альтернативные варианты построения системы), представлен на рисунке.



Принцип сравнительных суждений экспертов в МАИ состоит в том, что объекты проблемы выбора сравниваются экспертами попарно по важности. Попарно сравнивается степень важности разных вариантов систем (на уровне 3) и разных показателей качества (на уровне 2). Результаты парных сравнений приводятся к матричной форме:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i1} & a_{ij} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Оценки парных сравнений элементов получают с использованием субъективных суждений экспертов, численно определяемых по шкале относительной важности элементов.

Далее выполняется некоторая обработка матриц парных сравнений элементов иерархий на уровнях 2 и 3. С математической точки зрения задача обработки сводится к вычислению главного собственного вектора, который после определенной нормировки становится вектором приоритетов элементов на соответствующем уровне иерархии.

Компоненты главного собственного вектора вычисляются как среднее геометрическое значение в строке матрицы парных сравнений элементов на каждом уровне:

$$V_i = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Компоненты вектора приоритетов элементов вычисляются через компоненты главного собственного вектора:

$$P_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

На основе матрицы парных сравнений показателей качества (1), полученной на уровне 2, вычисляются компоненты главного собственного вектора (2) и вектора приоритетов (3) показателей качества системы  $\vec{P}$ . Аналогично определяют оценки матриц парных сравнений вариантов систем на уровне 3 в отдельности по отношению к каждому показателю качества системы. На основе этих матриц вычисляются компоненты соответствующих главных собственных векторов и векторов приоритетов  $\vec{Q}_i, i = \overline{1, n}$  по отношению к показателям качества. С использованием этих данных вычисляются значения компонентов вектора глобальных приоритетов:

$$C_j = \sum_{i=1}^n P_i Q_{ij}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где  $n$  — число показателей качества;  $N$  — число сравниваемых вариантов систем.

По максимальному значению компонентов вектора глобальных приоритетов (4) выбирается наиболее предпочтительный вариант системы.

Рассмотрим практические особенности использования метода МАИ на примерах выбора предпочтительного варианта для разных типов средств телекоммуникаций из некоторого множества допустимых вариантов с учетом совокупности показателей качества и суждений экспертов [7].

### Сравнительный анализ и выбор вариантов построения для систем связи с различными видами модуляции

Для сравнительного анализа были выбраны системы цифровой связи с когерентной MPSK и некогерентной MFSK с различным числом позиций модуляции  $M$  при вероятности битовой ошибки  $P_b = 10^{-5}$  [8]. В качестве показателей качества выбраны отношение сигнал/шум  $K_1 = E_b/N_0$  и эффективность использования полосы пропускания  $K_2 = R/W$ .

Предполагается, что до модуляции осуществляется фильтрация по Найквисту (идеальная прямоугольная), так что минимальная двойная полоса пропускания на промежуточной частоте (*intermediate frequency*) равна  $W_{IF} = 1/T$ , где  $T$  — длительность символа. При этом эффективность использования полосы частот  $R/W = \log_2 M$ . При модуляции MPSK значение  $R/W$  растет с увеличением  $M$ . Предполагается, что полоса передачи равна  $W_{IF} = M/T$ . При модуляции MFSK эффективность использования полосы частот равна  $R/W = (\log_2 M)/M$ . При этом значение  $R/W$  снижается с увеличением  $M$ .

Исходные данные для сравнительного анализа и выбора вариантов систем связи с MPSK и MFSK при разном числе позиций  $M$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Показатели качества           | Вариант системы |         |         |          |         |         |         |          |
|-------------------------------|-----------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|
|                               | 1               | 2       | 3       | 4        | 5       | 6       | 7       | 8        |
|                               | MPSK            |         |         |          | MFSK    |         |         |          |
|                               | $M = 2$         | $M = 4$ | $M = 8$ | $M = 16$ | $M = 2$ | $M = 4$ | $M = 8$ | $M = 16$ |
| $K_1 = E_b/N_0$ ,<br>бит/с/Гц | 10              | 10      | 13      | 18       | 13      | 10      | 8       | 7        |
| $K_2 = R/W$ ,<br>дБ           | 1               | 2       | 3       | 4        | 1/2     | 1/2     | 1/3     | 1/4      |

Исходные значения показателей качества  $K_1$  и  $K_2$  нормированы к максимальному значению и приведены к сопоставимому виду. Затем с учетом суждений экспертов сформированы матрицы парных сравнений указанных показателей качества, а также разных вариантов систем по отношению к каждому показателю качества. По этим матрицам парных сравнений вычислены компоненты главных собственных векторов и векторов приоритетов согласно (2), (3) и (4) с использованием программного комплекса, созданного в среде EXEL.

Вычисленные оценки компоненты главного собственного вектора и компоненты вектора приоритетов показателей качества в качестве примера представлены в табл. 2.

Таблица 2

|       | $K_1$ | $K_2$ | $V_i$ | $P_i$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $K_1$ | 1     | 1/2   | 0,707 | 0,333 |
| $K_2$ | 2     | 1     | 1,414 | 0,667 |

Вычисленные значения компонент вектора приоритетов вариантов модуляции в системе связи по отношению к показателям качества приведены в табл. 3 (первые два столбца). Здесь же в последней строке даны компоненты вектора приоритетов показателей качества. Компоненты вектора глобальных приоритетов  $\bar{C}$  приведены в последнем столбце табл. 3.

Таблица 3

| Вариант системы | $P_1$ | $P_2$ | $C_j$   |
|-----------------|-------|-------|---------|
| 1               | 0,117 | 0,078 | 0,09087 |
| 2               | 0,098 | 0,179 | 0,15227 |
| 3               | 0,045 | 0,25  | 0,18235 |
| 4               | 0,021 | 0,366 | 0,25215 |
| 5               | 0,038 | 0,049 | 0,04537 |
| 6               | 0,082 | 0,042 | 0,0552  |
| 7               | 0,214 | 0,02  | 0,08402 |
| 8               | 0,384 | 0,015 | 0,13677 |
| $P_i$           | 0,33  | 0,67  |         |

В рассмотренном множестве вариантов модуляций в цифровой системе связи по максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов  $\bar{C}$  выбран предпочтительный вариант №4. Ему соответствует система связи с когерентной MPSK при числе позиций  $M = 16$ , при отношении сигнал/шум  $E_b/N_0 = 18$  дБ и эффективности использования полосы пропускания  $R/W = 4$  бит/с/Гц.

**Сравнительный анализ и выбор вариантов построения сотовых сетей мобильной связи 3-го поколения**

При проведении сравнительного анализа вариантов построения сотовых сетей мобильной связи (СМС) стандарта UMTS выбраны следующие параметры сети: вероятность блокировки  $P_{\text{бл}}$ , плотность обслуживаемых абонентов  $N_{\text{аб}}/S_0$  ( $N_{\text{аб}}$  — число обслуживаемых абонентов;  $S_0$  — площадь обслуживаемой территории), необходимое количество базовых станций в сети  $N_{\text{RTS}}$ . Эти параметры характеризуют качество работы сети и могут быть использованы в качестве показателей качества сети  $K_i$ . Исходные данные для  $P_{\text{бл}}$ , а также рассчитанные параметры  $N_{\text{аб}}/S_0$  и  $N_{\text{RTS}}$  [4] представлены в табл. 4.

Таблица 4

| Вариант СМС | $K_1 = P_{\text{бл}}$ | $K_2 = N_{\text{аб}}/S_0$ | $K_3 = N_{\text{RTS}}$ |
|-------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| 1           | 0,1                   | 166                       | 11                     |
| 2           | 0,07                  | 192                       | 21                     |
| 3           | 0,04                  | 142                       | 15                     |
| 4           | 0,02                  | 183                       | 18                     |
| 5           | 0,02                  | 189                       | 22                     |

Матрица парных сравнений показателей качества и вычисленные оценки компонент главного собственного вектора и вектора приоритетов показателей качества СМС приведена в табл. 5.

Таблица 5

|       | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $V_i$  | $P_i$  |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| $K_1$ | 1     | 5     | 3     | 2,464  | 0,6173 |
| $K_2$ | 1/5   | 1     | 1/5   | 0,3424 | 0,0858 |
| $K_3$ | 1/3   | 5     | 1     | 1,1854 | 0,297  |

Вычисленные значения компонент вектора приоритетов вариантов систем по отношению к показателям качества, а также компоненты вектора глобальных приоритетов  $\vec{C}$  приведены в табл. 6.

Таблица 6

| Вариант СМС | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $C_j$  |
|-------------|-------|-------|-------|--------|
| $N_1$       | 0,03  | 0,07  | 0,51  | 0,1779 |
| $N_2$       | 0,04  | 0,45  | 0,07  | 0,0863 |
| $N_3$       | 0,11  | 0,04  | 0,26  | 0,1498 |
| $N_4$       | 0,47  | 0,16  | 0,12  | 0,3418 |
| $N_5$       | 0,35  | 0,29  | 0,04  | 0,2551 |
| $P_i$       | 0,62  | 0,09  | 0,3   |        |

Максимальному значению компонент вектора  $\vec{C}$  соответствует предпочтительный вариант СМС (№4), который характеризуется минимальной допустимой вероятностью блокировки  $P_{\text{бл}} = 0,02$ , плотностью обслуживаемых абонентов  $N_{\text{аб}}/S_0 = 183$  аб/км<sup>2</sup> и количеством базовых станций  $N_{\text{RTS}} = 18$ .

**Сравнительный анализ и выбор технологий мобильной связи HSPA, WiMAX и LTE**

Для сравнительного анализа были выбраны технологии мобильной связи HSPA (релиз 7 и релиз 8), WiMAX и LTE [9-11]. Исходные значения показателей качества разных стандартов сотовой сети связи представлены в табл. 7, где:  $K_1$  — спектральная эффективность (нисходящий канал);  $K_2$  — радиус действия;  $K_3$  — скорость передачи данных.

Таблиця 7

| Показатели качества                                               | HSPA    |         | WiMAX     | LTE  |
|-------------------------------------------------------------------|---------|---------|-----------|------|
|                                                                   | Релиз 7 | Релиз 8 | Релиз 1.5 |      |
| Вариант                                                           | 1       | 2       | 3         | 4    |
| Спектральная эффективность (нисходящий канал, MIMO 2x2), бит/с/Гц | 0,87    | 1,75    | 1,59      | 1,57 |
| Радиус действия, км                                               | 30      | 40      | 50        | 5    |
| Скорость, Мбит/с                                                  | 21      | 35      | 48        | 75   |

Для рассмотренных технологий на основе суждений экспертов сформированы матрицы парных сравнений указанных показателей качества и вариантов технологий по отношению к показателям качества. Вычисленные оценки компоненты главного собственного вектора показателей качества и компонент вектора приоритетов показателей качества приведены в табл. 8.

Таблиця 8

|       | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $V_i$  | $P_i$  |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| $K_1$ | 1     | 3     | 1/3   | 1      | 0,2584 |
| $K_2$ | 1/3   | 1     | 1/5   | 0,4058 | 0,1049 |
| $K_3$ | 3     | 5     | 1     | 2,464  | 0,6367 |

Вычисленные значения компонент вектора приоритетов вариантов технологий по отношению к каждому показателю качества, а также компоненты вектора глобальных приоритетов  $\vec{C}$  приведены в табл. 9.

Таблиця 9

| Вариант | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $C_j$  |
|---------|-------|-------|-------|--------|
| 1       | 0,057 | 0,13  | 0,043 | 0,0553 |
| 2       | 0,494 | 0,279 | 0,093 | 0,2158 |
| 3       | 0,285 | 0,548 | 0,359 | 0,3586 |
| 4       | 0,165 | 0,043 | 0,505 | 0,3704 |
| $P_i$   | 0,26  | 0,1   | 0,64  |        |

Максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов  $\vec{C}$  соответствует предпочтительный вариант технологии мобильной связи №4. Это технология LTE со скоростью передачи данных 75 Мбит/с, спектральной эффективностью 1,57 бит/с/Гц и радиусом действия 5 км.

### Сравнительный анализ и выбор речевых кодеков для сетей IP-телефонии

В методе анализа иерархий при решении задачи выбора предпочтительного проектного варианта проверяется согласованность суждений экспертов путем вычисления значения индекса согласованности и сравнения его с некоторыми допустимыми значениями [6]. При этом рекомендуется применения МАИ при не очень большом числе сравниваемых альтернатив.

В данной работе изложены особенности выбора предпочтительного варианта, когда предварительно для сокращения числа сравниваемых вариантов систем вводится этап Парето-оптимизации. При этом выделяется подмножество Парето-оптимальных вариантов и исключаются безусловно худшие варианты. Далее в полученном множестве Парето выполняется выбор предпочтительного проектного варианта методом анализа иерархий.

Рассмотрен пример анализа и выбора предпочтительного варианта из некоторого множества, который включает 23 типовых речевых кодеков, используемых при проектировании сетей IP-телефонии [12]. В качестве показателей качества выбраны основные технические характеристики речевых кодеков, характеризующие их потребительские свойства, в частности, скорость кодирования, оценка качества речи, сложность реализации, размер кадра, суммарная задержка. Нетрудно видеть, что эти показатели качества связаны между собой и носят конкурирующий характер.

Из исходного множества 23 вариантов речевых кодеков с учетом совокупности пяти показателей качества выделено подмножество Парето, которое включает 12 вариантов кодеков. Далее выполнены парные сравнения Парето-оптимальных вариантов речевых кодеков по отношению к выбранным показателям качества. В результате обработки полученных матриц парных сравнений вычислены соответствующие собственные векторы и векторы приоритетов вариантов по отношению к показателям качества  $P_{ij}$ ,  $j = 1, 12$ . Они приведены в качестве столбцов в табл. 10. В этой таблице также приведены полученные ранее компоненты вектора приоритетов показателей качества  $\vec{P}$ . С использованием этих данных вычислены значения компонент глобального вектора приоритетов  $\vec{C}$ , которые приведены в последнем столбце табл. 10.

Таблица 10

| Вариант                   | Тип кодека | Компоненты векторов приоритетов речевых кодеков по отношению к показателям качества $P_{ij}$ , $j = 1, 12$ |          |          |          |          | Компоненты вектора $\vec{C}$ |
|---------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------------|
|                           |            | $P_{1j}$                                                                                                   | $P_{2j}$ | $P_{3j}$ | $P_{4j}$ | $P_{5j}$ |                              |
| 1                         | G 721      | 0,26                                                                                                       | 0,13     | 0,25     | 0,02     | 0,21     | 0,2                          |
| 2                         | G 722a     | 0,02                                                                                                       | 0,24     | 0,09     | 0,01     | 0,09     | 0,09                         |
| 3                         | G 722b     | 0,01                                                                                                       | 0,15     | 0,11     | 0,01     | 0,09     | 0,07                         |
| 4                         | G 723.1a   | 0,03                                                                                                       | 0,01     | 0,05     | 0,23     | 0,01     | 0,04                         |
| 5                         | G 723.1    | 0,04                                                                                                       | 0,03     | 0,04     | 0,26     | 0,01     | 0,05                         |
| 6                         | G 726b     | 0,02                                                                                                       | 0,02     | 0,21     | 0,02     | 0,15     | 0,06                         |
| 7                         | G 728      | 0,22                                                                                                       | 0,05     | 0,01     | 0,04     | 0,17     | 0,13                         |
| 8                         | G 729      | 0,06                                                                                                       | 0,08     | 0,02     | 0,11     | 0,05     | 0,06                         |
| 9                         | G 729a     | 0,06                                                                                                       | 0,03     | 0,17     | 0,09     | 0,02     | 0,07                         |
| 10                        | G 729ea    | 0,01                                                                                                       | 0,09     | 0,01     | 0,08     | 0,04     | 0,08                         |
| 11                        | G 728a     | 0,12                                                                                                       | 0,11     | 0,04     | 0,03     | 0,12     | 0,1                          |
| 12                        | G 729d     | 0,05                                                                                                       | 0,06     | 0,02     | 0,1      | 0,04     | 0,05                         |
| $P_i, i = \overline{1,5}$ |            | 0,47                                                                                                       | 0,27     | 0,15     | 0,07     | 0,04     |                              |

По максимальному значению вычисленных компонент вектора глобальных приоритетов  $\vec{C}$  выбран предпочтительный речевой кодек. Таким является речевой кодек G.721, который характеризуется следующими показателями качества: скорость кодирования — 32 кбит/с, качество кодирования речи — 4,1, сложность реализации — 7,2 MIPS, размер кадра — 0,125 мс, суммарная задержка — 30 мс.

### Выводы

Научная новизна работы состоит в применении метода анализа иерархий для сравнительного анализа и выбора предпочтительного варианта средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества и суждений экспертов. Рассмотрены примеры задач выбора предпочтительного варианта для разных типов средств телекоммуникаций, в частности, для цифровых систем связи с разным видом модуляции, разных вариантов построения сети мобильной связи 3-го поколения, разных технологий сетей мобильной связи 4-го поколения, разных типов речевых кодеков. Исследованы практические особенности и сформулированы рекомендации по применению метода анализа иерархий при выборе предпочтительных проектных вариантов средств телекоммуникаций.

### Список использованной литературы

1. Семенов Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 236 с.
2. Безрук В. М., Буханько А. Н., Чеботарёва Д. В. Принятие оптимальных решений в инфокоммуникациях с учетом совокупности показателей качества // Научно-технические аспекты в инфокоммуникациях: обработка и защита информации. Харьков: Компания СМИТ, 2013. С. 104–125.
3. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 176 с.

4. **Чеботарёва Д. В., Безрук В. М.** Многокритериальная оптимизация проектных решений при планировании сотовых сетей мобильной связи. Х.: Компания СМИТ, 2013. 148 с.
5. **Безрук В. М., Пономаренко Н. Н., Скорик Ю. В.** Анализ эффективности методов многокритериального выбора предпочтительного варианта средств телекоммуникаций // Проблемы телекоммуникаций. 2015. № 1 (16). С. 42–53.
6. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
7. **Безрук В. М., Скорик Ю. В.** Применение метода анализа иерархий при выборе средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества // Радиоэлектроника и информатика. Харьков: ХНУРЭ, 2013. С. 24–29.
8. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. Москва: Изд. дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
9. **Берлин А. Н.** Цифровые сотовые системы связи. Москва: Эко-Трендз, 2007. 230 с.
10. **Holma N., Toskala A.** LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access. Finland. John Wiley s Sons, Ltd. 2009. 433 с.
11. **Вишневский В., Портной С., Шахнович И.** Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. Техносфера, 2009. 472 с.
12. **Безрук В. М., Скорик Ю. В., Чеботарёва Д. В.** Методы многокритериальной оптимизации при выборе речевых кодеков с учетом совокупности показателей качества // Проблемы телекоммуникаций. 2013. № 3 (12). С. 27–35.

**Рецензент:** доктор техн. наук, профессор **Л. Н. Беркман**, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

*В. М. Безрук, Ю. В. Скорик*

### **БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ**

*Засоби телекомунікації (системи, прилади, технології) є важливими компонентами сучасних інфокомунікацій. Розглядаються особливості вибору переважного проектного варіанту засобів телекомунікацій із урахуванням сукупності показників якості і суджень експертів на основі методу аналізу ієрархій.*

*Вимоги строгого врахування суперечливих показників якості виникають під час вибору переважного проектного варіанту системи. Це зумовлює використання методів багатокритеріальної оптимізації при виборі оптимальних проектних вирішень із множини допустимих варіантів.*

*Наукова новизна роботи полягає в застосуванні методу аналізу ієрархій для порівняльного аналізу і вибору переважного варіанту засобів телекомунікацій із урахуванням сукупності показників якості і суджень експертів. Розв'язання багатокритеріальних задач оптимізації полягає, в загальному випадку, в отриманні не одного, а деякої множини Парето-оптимальних вирішень, які можуть бути використані під час проектування. Для звуження множини Парето до єдиного переважного варіанту пропонується використати метод аналізу ієрархій, що базується на строгому формалізованому обробленні суджень експертів.*

*Досліджено особливості проведення вибору переважного варіанту методом аналізу ієрархій для різних типів телекомунікаційних засобів, зокрема, для цифрових систем зв'язку з різним типом модуляції, різних версій побудови мережі мобільного зв'язку 3-го покоління, різних технологій мобільних мереж 4-го покоління, різних типів мовних кодеків.*

*Розглянуто теоретичні та практичні аспекти застосування методу аналізу ієрархій для вибору переважного варіанту для різних типів телекомунікаційних засобів з урахуванням сукупності показників якості і формалізованого оброблення суджень експертів.*

**Ключові слова:** засоби телекомунікацій; багатокритеріальна оптимізація; Парето-оптимальні вирішення; вибір переважного варіанту; метод аналізу ієрархій.

*V. M. Bezruk, Yu. V. Skorik*

### **MULTICRITERIA CHOICE OF TELECOMMUNICATIONS MEANS BY HIERARCHY ANALYSIS**

*Telecommunication facilities (systems, devices, technologies) are important components of modern info-communications. The article considers the features of choosing the preferred design option for telecommunications, taking into account the totality of quality indicators and expert judgments based on the hierarchy analysis method.*

*The requirements for strict accounting of conflicting quality indicators arise when choosing the preferred design options for the system. This determines the need to use multicriteria optimization methods when choosing optimal design solutions from the set of acceptable options.*

*The scientific novelty of the work lies in the application of the hierarchy analysis method for comparative analysis and the selection of the preferred option for telecommunications, taking into account a combination of quality indicators and expert judgments. The solution of multicriteria optimization problems consists, in the general case, in the search for not one, but a certain set of Pareto-optimal solutions that can be used in the design. To narrow the Pareto set to one preferred option, it is proposed to use a hierarchy analysis method based on a rigorous formalized processing of expert judgments.*

*The features of choosing the preferred option by the hierarchy analysis method for various types of telecommunication facilities, in particular, for digital communication systems with different types of modulation, various versions of the construction of a 3rd generation mobile communication network, various technologies of 4th generation mobile networks, various types of speech codecs, are investigated.*

*The theoretical and practical aspects of applying the method of analyzing hierarchies to select the preferred option for different types of telecommunications are studied, taking into account the totality of quality indicators and formalized processing of expert judgments.*

**Keywords:** telecommunication facilities; multi-criteria optimization; Pareto-optimal solutions; choice of the preferred option; hierarchy analysis method.