

УДК 621.396

**МЕТОД ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ
ТРАНКІНГОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

ПРОЦЕНКО М.Б., РОЖНОВСЬКИЙ М.В., БУХАН Д.Ю.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

**METHOD OF COMPARATIVE ANALYSIS OF DIGITAL
TRUNKING COMMUNICATION SYSTEMS**

PROTSENKO M.B., ROZHNOVSKIY M.V., BUKHAN D.YU.

Odessa national academy of telecommunications named after O.S. Popov

***Анотація.** Запропоновано метод експертної оцінки для проведення порівняльного аналізу технічних характеристик систем зв'язку, схожих за своїми функціональними можливостями, на прикладі цифрових транкінгових систем зв'язку.*

***Abstract.** The expert judgment method for comparative analysis of technical characteristics of communication systems with similar functional capabilities by example of digital trunking communication systems is given .*

Сучасний світ характеризується бурхливим розвитком телекомунікаційних систем. Зокрема, один з перспективних напрямів розвитку рухомого радіозв'язку – це так звані системи зв'язку виробничо-технологічного призначення [1] або транкінгові системи. Служби таксі, будівельні майданчики, залізничний транспорт, спецслужби – ось невеликий перелік установ, де використання транкінгових систем зв'язку дозволяє забезпечити високий рівень організації і злагодженої роботи структурних одиниць, що створює високоефективну систему управління тією або іншою службою.

Нове покоління транкінгових систем – це покоління цифрових систем, які забезпечують підвищення якості радіозв'язку порівняно з аналоговими системами в межах заданої зони обслуговування, передавання даних з високою швидкістю і достовірністю, роумінг, високий ступінь захисту інформації тощо. На сьогодні на ринку існує велика пропозиція цифрових транкінгових систем зв'язку, і кожен потенційний користувач перш ніж інсталиувати ту або іншу систему стикається з проблемою порівняльного аналізу, а надалі і вибору однієї із запропонованих на ринку транкінгових систем зв'язку. В літературі існують роботи, в яких проведений порівняльний аналіз стандартів цифрового транкінгового радіозв'язку з погляду технічних характеристик [2...5]. Проте чітко не описана методика порівняльного аналізу систем зв'язку, який дає однозначну відповідь на питання, яка з проаналізованих систем зв'язку найбільш підходить споживачеві з погляду його потреб. Тому мета даної статті – запропонувати методику порівняльного аналізу стандартів цифрового транкінгового радіозв'язку.

МЕТОД ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ

Для порівняння систем цифрового транкінгового зв'язку застосуємо метод експертної оцінки [6, 7], який полягає в отриманні зваженого показника на основі бальних оцінок низки експлуатаційно-технічних критеріїв та їх вагових коефіцієнтів, обчислених шляхом їх попарного порівняння.

Особливістю вибраного методу є те, що група людей (експертів) для виконання порівняльного аналізу деяких об'єктів (систем) формують низку критеріїв, за якими будуть порівнюватися згадані об'єкти (системи). В процесі порівняльного аналізу в групі людей (експертів) відбувається взаємне обговорення параметра конкретної системи, який має відношення до певного заздалегідь сформульованого критерію, при цьому кожен експерт може висловлювати та модифікувати свої думки, в результаті чого вибирається компромісний груповий висновок щодо певного параметра системи по відношенню до конкретного критерію. В результаті описаної вище взаємодії експертів у рамках експертної групи забезпечується об'єднання думок експертів раціональним чином і, як результат, виноситься узагальнена оцінка того чи іншого критерію відносно конкретного об'єкта (системи) порівняння.

Для отримання єдиної комплексної порівняльної оцінки декількох об'єктів, що порівнюються, застосовують лінійну згортку виду:

$$Q = \sum_{i=1}^n K_i B_i, \quad (1)$$

де K_i – ваговий коефіцієнт i -го критерію; B_i – бальна оцінка i -го критерію.

Вагові коефіцієнти для заздалегідь прийнятих критеріїв обчислюються методом їх попарного порівняння. Для цього формується порівняльна матриця \mathbf{A} розміром $n \times m$ елементів, де кожний елемент матриці є результатом зваженого експертного порівняння i -го та j -го критеріїв. При цьому, якщо i -й критерій вважається експертами вагомим за j -й, то елемент a_{ij} має дорівнювати 2 (у свою чергу елемент a_{ji} має дорівнювати 0), а у випадку, коли i -й критерій вважається менш вагомим ніж j -й, елемент a_{ij} має дорівнювати 0 (a_{ji} має дорівнювати 2). Якщо ж i -й та j -й критерії вважаються рівнозначними, то елементи a_{ij} та a_{ji} повинні дорівнювати 1. Елементи головної діагоналі матриці дорівнюють 1.

Таким чином, у результаті порівняння критеріїв отримуємо матрицю \mathbf{A} попарних порівнянь, значення елементів a_{ij} якої відображають суб'єктивний висновок експертів стосовно важливості i -го критерію порівняно з j -м у конкретних умовах експертизи.

Для визначення вагових коефіцієнтів K_i i -го критерію необхідно знайти суму елементів матриці кожного рядка:

$$s_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad i = 1 \dots m, \quad (2)$$

де m – кількість критеріїв.

На наступному кроці необхідно обчислити загальну суму елементів матриці \mathbf{A} :

$$S_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} = \sum_{i=1}^m s_i. \quad (3)$$

Далі нормоване значення вагового коефіцієнта K_i i -го критерію обчислюється за формулою:

$$K_i = \frac{s_i}{S_k}, \quad i = 1 \dots m. \quad (4)$$

Результати обчислення вагових коефіцієнтів за формулою (4) на основі матриці попарного порівняння \mathbf{A} і результати бального оцінювання критеріїв на основі експертних висновків для всіх об'єктів порівняння, а також пояснення щодо кожного критерію заносяться до таблиці під назвою «Бальна оцінка критеріїв порівняння систем зв'язку». Відзначимо, що кількість балів (мінімум, наприклад, 1 бал, максимум, наприклад, 5 балів), присвоєних кожному критерію для кожного об'єкта порівняння, вказаних в таблиці під назвою «Бальна оцінка критеріїв порівняння систем зв'язку», формується, спираючись на досвід фахівців (експертів) та показники (бажано задокументовані), що характеризують той чи інший об'єкт (систему) порівняння. Аналіз даних, наведених в таблиці під назвою «Бальна оцінка критеріїв порівняння систем зв'язку», а також виконання розрахункових операцій згідно з виразом (1), дозволяють зробити висновок щодо порівняння декількох об'єктів і вибрати найкращий з порівнюваних об'єктів (систем).

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТРАНКІНГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Проведемо порівняльний аналіз згідно з описаною методикою у п. 1 на прикладі таких систем цифрового транкінгового зв'язку: NEXEDGE, TETRA, MOTOTRBO, APCO 25, TETRAPOL.

Для проведення порівняльного аналізу перш за все необхідно скласти та навести таблицю, у якій наведено технічні характеристики систем транкінгового зв'язку, що будуть порівнюватися.

Таблиця 1 – Технічні характеристики цифрових транкінгових систем зв'язку [2, 3, 8...12]

№ з/п	Назва параметра, характеристики	NEXEDGE (стандарт NXDN)	TETRA	MOTOTRBO Connect Plus (стандарт ETSI DMR)	APCO 25	TETRAPOL
Загальні відомості						
1	Розробник стандарту (обладнання)	Kenwood	ETSI	Motorola	APCO	Matra Communication
2	Основні виробники базового та мобільного обладнання	Kenwood	Motorola, OTE, Alcatel	Motorola	Motorola, E.F. Johnson Inc., Transcript, ADI Limited	Matra Communication, Nortel, CS Telecom
Основні параметри						
3	Максимальна потужність передавача базової станції, Вт	50	30	100	25	1 – 25
4	Максимальна потужність передавача мобільної станції, Вт	25	3 – 10	45	10	10
5	Максимальна потужність передавача портативної станції, Вт	5	1 – 1,8	4 – 5	10	1; 2
6	Чутливість абонентського обладнання	0,20... 0,32 мкВ ¹ (-121... -117 дБм)	0,56... 1,58 мкВ (-112... -103 дБм)	0,30 мкВ (-117 дБм)	0,25...0,35 мкВ (-119... -116 дБм)	0,4 мкВ (-115 дБм)
7	Максимально припустима швидкість передавання даних, Кбіт/с	4,8 або 9,6 ²	9,6; 28,8 ³	9,6; 4,8	9,6	8
8	Аналоговий режим роботи рухомих радіостанцій	так	так	так	так	ні

Необхідно підкреслити, що таблиця 1 наведена для прикладу і не містить усіх параметрів та характеристик транкінгових систем.

На наступному кроці визначимося з діапазоном бальних оцінок і критеріями, відносно яких будемо порівнювати задані системи. Критерії порівняння доцільно вибирати, виходячи з основних функціональних відмінностей технологій та їх особливостей з точки зору експлуатаційно-технічних параметрів; параметрів забезпечення захисту інформації (захисту самої системи, її надійності); сервісних параметрів і параметрів обслуговування. Для порівняння цифрових транкінгових систем запропонуємо такі критерії.

Критерії експлуатаційно-технічних параметрів:

- 1) Дальність організації зв'язку (1 – відносно низька; 5 – відносно висока).
- 2) Оперативність організації зв'язку (1 – низька (0,5 с і більше); 5 – висока (менше ніж 0,2 с)).
- 3) Спектральна ефективність радіоканалів (1 – низька; 5 – висока).
- 4) Масштабованість і масштабність системи зв'язку (1 – низька при відносно великих трудових та економічних затратах; 5 – висока при відносно невеликих трудових та економічних затратах).
- 5) Можливість роботи абонентського обладнання у аналоговому та цифровому режимах (1 – можливість роботи тільки в одному із режимів; 5 – можливість роботи як у аналоговому, так і у цифровому режимах).

¹ Для BER = 3 %.

² У каналах зі смугою 6,25 кГц – 4,8 Кбіт/с; у каналах 12,5 кГц – 9,6 Кбіт/с.

³ У режимі “без захисту інформації” при застосуванні чотирьох часових інтервалів. У режимі “високий рівень захисту” максимальна швидкість передавання даних 9,6 Кбіт/с.

- 6) Можливість використання мережі при виході з ладу концентруючого обладнання та можливість використання терміналу поза зоною дії мережі (1 – можливість роботи в прямому режимі відсутня; 5 – можливий прямий режим роботи з високим рівнем захисту інформації та взаємодії з іншими системами зв'язку).

Критерії параметрів забезпечення захисту інформації та захисту самої системи:

- 7) Захищеність від зовнішнього прослуховування та зловмисного виводу з ладу всієї мережі без прямого контакту з обладнанням (1 – відсутній захист інформації, можливий повний вихід з ладу при наведенні зовнішніх завад; 5 – надзвичайно високий рівень захищеності, надвисока завадостійкість).

Критерії сервісних параметрів і параметрів обслуговування:

- 8) Рівень функціональності мережного обслуговування абонентів (1 – низький (лише базові функції); 5 – високий (значна кількість додаткових функцій)).
 9) Необхідність навчати персонал компанії використанню можливостей корпоративної мережі транкінгового зв'язку (1 – необхідне навчання персоналу; 5 – додатковий інструктаж не потрібен).
 10) Рівень залежності від виробника обладнання (1 – мала кількість виробників; 5 – значна кількість різних виробників).

Далі, визначившись з критеріями, відносно яких будемо порівнювати задані системи, заповнимо порівняльну матрицю **A** розміром 10×10 (таблиця 2).

Таблиця 2 – Попарне порівняння критеріїв експертної оцінки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2
2	0	1	1	0	0	0	0	1	2	2
3	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1
4	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
5	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1
6	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2
7	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1
8	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1

На наступному кроці для визначення вагових коефіцієнтів K_i i -го критерію знаходимо суму елементів матриці кожного рядка згідно з виразом (2). Далі обчислюємо загальну суму елементів матриці, користуючись формулою (3), і насамкінець визначаємо нормоване значення вагового коефіцієнта K_i i -го критерію за формулою (4). Результати розрахунків разом із бальними оцінками та поясненнями суті вибраних критеріїв заносимо в таблиці 3. Зазначимо, що визначення бальних оцінок проводиться таким чином: бальна оцінка B_i i -го критерію для кожного стандарту визначається в результаті аналізу та порівняння конкретних даних (тих, що стосуються відповідного критерію), наведених у таблиці 1. Процес аналізу відповідних даних для конкретного критерію та визначення бальної оцінки B_i розглянемо на прикладі першого критерію з таблиці 3 “Дальність організації зв'язку”. Оцінка даного критерію отримана в результаті аналізу даних, приведених в таблиці 1 (за умови рівності всіх інших факторів, які додатково можуть впливати на дальність організації зв'язку), а саме: максимальна потужність передавача базової станції (3-й пункт таблиці 1); максимальна потужність передавача мобільної станції (4-й пункт таблиці 1); максимальна потужність передавача портативної станції (5-й пункт таблиці 1); чутливість абонентського обладнання (6-й пункт таблиці 1). Отже, проаналізуємо 3-й пункт таблиці 1 – максимальна потужність передавача базової станції та присвоїмо кожному значенню потужності передавача базової станції оцінку в межах від 1 до 5. Згідно з даними вказаного пункту найбільшу потужність має передавач базової станції у системі MOTOTRBO (100 Вт), їй присвоїмо оцінку “5”, трохи меншу потужність має передавач базової станції системи NEX-EDGE (50 Вт), йому присвоїмо оцінку “4”, передавач базової станції системи TETRA має потужність 30 Вт, йому присвоїмо оцінку “3”, потужність передавачів базових станцій систем APCO 25 та TE-

TRAPOL складає 25 Вт, тож їм присвоїмо оцінку “2”. Далі аналогічно аналізуємо 4-й пункт таблиці 1 максимальна потужність передавача мобільної станції і також присвоюємо оцінки: MOTOTRBO (45 Вт) – “5”, NEXEDGE (25 Вт) – “4”, TETRA, TETRAPOL і APCO 25 (10 Вт) – “3”. Наступний крок – аналіз 5-го пункту таблиці 1 максимальна потужність передавача портативної станції: APCO 25 (10 Вт) – “5”, NEXEDGE (5 Вт) – “4”, MOTOTRBO (4–5 Вт) – “3”, TETRA і TETRAPOL (1–1,8 Вт; 1; 2 Вт) – “2”. Далі аналіз 6-го пункту таблиці 1 – чутливість абонентського обладнання: NEXEDGE (-121 ... -117 дБм) – “5”, MOTOTRBO, APCO 25 (-119 ... -116 дБм) – “4”, TETRAPOL (-115 дБм) – “3”, TETRA (-112 ... -103 дБм) – “2”.

Після аналізу вказаних пунктів виводимо середню бальну оцінку B_i “Дальності організації зв’язку” для кожної системи таким чином: просумуємо оцінки проаналізованих пунктів таблиці 1, наприклад, для системи NEXEDGE (4+4+4+5=17) отримаємо 17 і розділимо на кількість проаналізованих пунктів (4), отримаємо – 4,25. Округлимо отриману оцінку до цілих чисел і отримаємо остаточну оцінку – “4”, яку занесемо до таблиці 3. У разі, якщо дані в таблиці 1 носять не числовий характер, тоді оцінювання проводиться таким чином, наприклад, розглянемо 8-й пункт таблиці 1 аналоговий режим роботи рухомих радіостанцій. Аналізуючи вказаний пункт таблиці 1, якщо ми маємо однозначне ствердження “так”, то тоді присвоюємо відповідній системі оцінку “5”, якщо ми маємо однозначне “ні”, то тоді присвоюємо відповідній системі оцінку “1”, якщо ми маємо неоднозначне ствердження, наприклад, у системі TETRA аналоговий режим роботи рухомих радіостанцій не підтримується за винятком однієї лінійки обладнання виробництва компанії Philips [10], то тоді оцінка ставиться за результатами дискусії експертів, у нашому випадку системі TETRA присвоєна оцінка “3”. У разі, якщо в якомусь пункті таблиці 1 для певної системи відсутні дані, то тоді по даному пункту таблиці 1 конкретній системі присвоюємо середню оцінку “2,5” (така оцінка характерна для будь-якого пункту таблиці 1, по якому немає даних, в усіх інших випадках оцінка має бути цілим числом у межах від 1 до 5). Аналогічним чином отримуємо бальні оцінки по всіх десяти запропонованих критеріях для кожної системи.

Таблиця 3 – Бальна оцінка критеріїв порівняння систем зв’язку

№ з.п. (i)	Назва критерію	Ваговий коефіцієнт K_i	Бальна оцінка B_i					Пояснення
			NEXEDGE	TETRA	MOTOTRBO	APCO 25	TETRAPOL	
1	Дальність організації зв’язку	0,15	4	2	5	4	3	<p>Під дальністю зв’язку розуміють максимальну відстань між двома радіостанціями, на якій забезпечується стійкий зв’язок з необхідною якістю. При цьому стійким зв’язок вважається тоді, коли відношення проведених сеансів зв’язку до загального числа спроб виходу на зв’язок перевищує задане. Під необхідною якістю розуміють якість прийому мовного сигналу, за якого зберігається задана розбірливість.</p> <p>Оцінка даного критерію отримана в результаті аналізу даних, приведених в таблиці 1 (за умови рівності всіх інших факторів, які додатково можуть впливати на дальність організації зв’язку), а саме: <i>максимальна потужність передавача базової станції</i> (3-й пункт таблиці 1); <i>максимальна потужність передавача мобільної станції</i> (4-й пункт таблиці 1); <i>максимальна потужність передавача портативної станції</i> (5-й пункт таблиці 1); <i>чутливість абонентського обладнання</i> (6-й пункт таблиці 1).</p>
.
.
.
Q								Єдина комплексна порівняльна оцінка конкретної системи, що порівнюються, розрахована згідно з виразом (1).

Необхідно зазначити, що таблиця 3 (наведена для прикладу) в закінченому вигляді має містити всі десять критеріїв та їх бальні оцінки B_i , як це показано для першого критерію, а також розраховані згідно з виразом (1) єдині комплексні порівняльні оцінки Q всіх систем, що порівнюються. Порівняння комплексних оцінок Q дає можливість визначити найкращу систему цифрового транкінгового зв'язку з тих, що порівнювалися відносно заданих критеріїв порівняння.

Таким чином, в даній роботі показано, що для проведення порівняльного аналізу технічних характеристик декількох систем зв'язку, схожих за своїми функціональними можливостями, можна застосовувати метод експертної оцінки, який дозволяє однозначно виявити кращу систему зв'язку по відношенню до потреб конкретного користувача. Вказаний метод порівняння полягає в тому, що користувач формує низку критеріїв відповідно до своїх потреб, а далі за заданими критеріями порівнюються відповідні технічні характеристики систем зв'язку, що аналізуються. Алгоритм проведення порівняльного аналізу систем зв'язку методом експертної оцінки в даній роботі показано на прикладі порівняння цифрових транкінгових систем зв'язку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Климова Т.В. Помехоустойчивость цифровых транкинговых систем технологической радиосвязи: дис. канд. техн. наук: 05.12.04, 05.12.13 / Климова Татьяна Викторовна. – М., 2002. – 191 с.
2. Овчинников А.М. Сравнительный анализ стандартов цифровой транкинговой радиосвязи [Электронный ресурс] /А.М. Овчинников // Специальная техника. – 2000. – № 2. – Режим доступа к статье: <http://www.ess.ru/publications/articles/ovchinky2/ovchky2.htm>
3. Овчинников А.М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи / Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. – М.: Связь и бизнес, 2000. – 166 с.
4. Гоцуляк А.Ф. Сравнительный анализ цифровых стандартов транкинговой связи TETRA и TETRAPOL [Электронный ресурс] / Гоцуляк А.Ф., Месяцев С.В., Орлов С.Н. – Режим доступа к статье: www.tetrapol.ru/images/upload/106681117559.pdf
5. Морозов Е. Транкинговая связь: разумная замена сотовой связи [Электронный ресурс] / Морозов Е. – Режим доступа к статье: http://mobi.ru/Articles/2584/Trankingovaya_svyaz_razumnaya_zamena_sotovoivoi_svyazi.htm
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений / Ларичев О.И. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
8. NEXEDGE [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://nexedge.kenwood.com/products.html>.
9. TETRA [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: http://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/detail.php&SECTION_ID=28&ID=90, <http://www.viol.uz/systems/trunk/page7.shtml>
10. MOTOTRBO Системный планировщик. Издание 1.0. – Motorola [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: http://files.radioscanner.ru/files/download/file9390/systemplanner_issue1_0_rus.pdf
11. APCO Project 25: New Technology Standards Project. Digital Radio Technical Standards. Statement Of Requirements. November 10, 1999 [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://www.viol.uz/systems/trunk/page8.html>, http://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/detail.php?SECTION_ID=28&ID=90.
12. TETRAPOL [Электронный ресурс]. – Режим доступа к информации: <http://www.viol.uz/systems/trunk/page6.shtml>, http://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/protocol/detail.php?SECTION_ID=28&ID=90