

ПІДЧЕНКО СЕРГІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9488-1782>e-mail: sergpchn@gmail.com

КУЧЕРУК ОКСАНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2812-5318>e-mail: kucheruk.o.ya@gmail.com

ПИВОВАР ОЛЕГ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4041-1248>e-mail: pyvo@i.ua

ВИБІР ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ МОВНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ

При виборі відповідного обладнання телекомунікаційної мережі виникає необхідність прийняття рішення з урахуванням набору критеріїв, які суперечать один одному. Одним з перспективних підходів для вирішення таких проблем є використання методів MCDM (Multiple Criteria Decision Making). Методи MCDM сприяють підвищенню ефективності процесу прийняття рішень і дозволяють уникнути певних помилок при виборі телекомунікаційного обладнання. В дослідженні, зокрема, розглядається проблема вибору кодека мовних повідомлень за набором критеріїв.

Для визначення найкращої альтернативи на сьогодні розроблена значна кількість методів MCDM, але за певних умов використання цих методів може дати різні результати. Тому, вчені зазвичай використовують більше одного методу одночасно. В даному дослідженні для вибору відповідної конфігурації кодека було використано методи TOPSIS, MARCOS та PIV, з метою отримання результатів ранжування кодеків найбільш об'єктивним чином. Визначено найкращу альтернативу. Підтверджено тезу, що необхідно застосовувати не один метод при ранжуванні та виборі кращої альтернативи.

Ключові слова: телекомунікаційні мережі, методи MCDM, багатокритеріальний вибір, TOPSIS, PIV, MARCOS.

PIDCHENKO SERGIY, KUCHERUK OKSANA, PYVOVAR OLEH

Khmelnitskyi National University

SELECTION OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT IN VOICE MESSAGE TRANSMISSION SYSTEMS

Today, there is a wide range of telecommunications equipment from various manufacturers that performs similar functions in telecommunications networks. Taking into account the high cost of modern telecommunications equipment, the problem of making decisions on the optimal composition of telecommunications network equipment becomes important and relevant.

When choosing the appropriate telecommunication network equipment, it is necessary to make a decision taking into account a set of criteria that contradict each other. One of the promising approaches to solving such problems is the use of MCDM (Multiple Criteria Decision Making) methods. MCDM methods help to improve the efficiency of the decision-making process and avoid certain mistakes when choosing telecommunications equipment. In particular, the study considers the problem of choosing a voice message codec based on a set of criteria.

An important step in the multi-criteria decision-making process is to determine the weights of the criteria. In previous studies, the authors considered the issue of determining the weights of the criteria. A significant number of MCDM methods have been developed to determine the best alternative, but under certain conditions, the use of these methods can give different results. Therefore, scientists usually use more than one method at the same time.

In this study, TOPSIS, MARCOS, and PIV methods were used to select the appropriate codec configuration in order to obtain the results of codec ranking in the most objective way. The ranking of speech message codecs by the three methods was obtained. The obtained results are compared with each other. The best alternative is determined. The thesis that it is necessary to use more than one method when ranking and choosing the best alternative is confirmed.

Keywords: telecommunication networks, MCDM methods, multi-criteria selection, TOPSIS, PIV, MARCOS.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасні телекомунікаційні мережі (ТКМ) – складними системами, для забезпечення функціонування яких необхідні великі матеріальні та організаційні витрати. На теперішній час існує широкий асортимент телекомунікаційного обладнання різних виробників, що виконує подібні функції в телекомунікаційних мережах. Тому процес формування оптимального складу технічних засобів ТКМ викликає значну складність [1]. Враховуючи високу вартість сучасного телекомунікаційного обладнання, стає важливою та актуальною проблема прийняття рішень щодо вибору оптимального складу обладнання ТКМ.

Одними із основних елементів в телекомунікаційних (мобільних) системах при передачі мовних повідомлень є мовні кодекси (МК). Вони повинні здійснювати взаємодію із кінцевими засобами телекомунікацій щодо аналогово-цифрового та цифро-аналогового перетворень, а з іншого боку, із цифровим каналоутворюючим устаткуванням, що забезпечує усунення психоакустичної надлишковості, підвищення завадостійкості та шифрування повідомлень.

Найбільш суттєві перетворення відбуваються в межах усунення психоакустичної надлишковості (стиснення). При цьому, повинно забезпечуватись достатньо висока якість (розбірливість) мовних повідомлень (МП). Для оцінки якості мовних повідомлень після стиснення контролюється три базових

параметри: гучність, розбірливість та натуральність МП. Розбірливість та натуральність МП визначається на основі спеціальних артикуляційних таблиць із залученням дикторів та експертів з артикуляції.

Для телефонних мереж загального користування оцінка МП за п'ятибальною шкалою сягає від 4 до 5 (розбірливість мови більш як 80%), для мобільного зв'язку або голосової пошти – в межах від 3,5 до 4 (розбірливість мови 50...80%) [2].

Процедура стиснення МП реалізується на основі спеціальних алгоритмів, які поділяють на три групи.

До першої групи відносяться алгоритми часова екстраполяції, які використовують кореляцію елементів МП на інтервалах часу до 30 мс та поліімпульсне збудження системи (короткострокове, довгострокове). Це забезпечує стиснення МП до 6..10 разів із збереженням натуральності мови. Найчастіше такі системи кодування застосовуються для IP телефонії.

До другої групи відносяться вокодери (voice coder), робота яких базується на імітації вимови звуків та передачі параметрів цієї вимови включно із параметрами звукового тракту людини. Найбільш поширеними є формантні вокодери, які на даний момент забезпечують найвищий рівень стиснення (більш ніж у 100 разів) за помірних обчислювальних витрат із збереженням розбірливості та частковим збереженням натуральності мови.

До третьої групи відносять алгоритми векторного кодування, які ґрунтуються на передачі індексів елементів мови або параметрів двох попередніх процедур кодування та їх відновлення за допомогою кодових книжок. Векторне кодування практично не зменшує якість мови за зменшення швидкості передачі на порядок, забезпечує додатковий захист від несанкціонованого доступу, але потребує найбільших обчислювальних витрат в порівнянні з іншими алгоритмами стиснення.

Для сучасних кодеків МП характерне поєднання елементів алгоритмів усіх груп [2].

При виборі відповідної конфігурації кодека виникає необхідність прийняття рішення з урахуванням набору критеріїв, які суперечать один одному: критерії кінцевого користувача (зрозумілість або якість мови); критерії реалізації (об'єм обчислювальних операцій та обсяг апаратних витрат); критерії каналу (швидкість та затримка передачі). Тому виникає потреба у практичних інструментах для прийняття відповідних рішень. Одним з перспективних підходів для вирішення описаної проблеми є використання методів MCDM (Multiple Criteria Decision Making) [3].

Аналіз досліджень та публікацій

Проблему вибору та оптимізації обладнання при проектуванні телекомунікаційних мереж в своїх дослідженнях розглядало багато науковців. Зокрема, А. Zhanasbayeva та ін. [1] здійснювали вибір технічних засобів мережі з використанням методів АНР (Analytic hierarchy process) та АНР (Analytic Network Process). В дослідженнях V. Bezruk а ін. [4,5] здійснювався вибір обладнання, використовуючи методи теорії нечітких множин та метод АНР. Л. Мельнікової та ін. [6] запропонували евристичну процедуру багатокритеріального вибору телекомунікаційного обладнання, зокрема, мовного кодеку.

MCDM — це спосіб мислення та підхід до складної проблеми прийняття рішення. Методи MCDM надають особі, яка приймає рішення, інструменти для вирішення проблеми, в якій існує багато конфліктуючих критеріїв рішення одночасно. Тим самим зазначені методи забезпечують процес, який призводить до раціональних, зрозумілих і виправданих рішень. Методи MCDM сприяють удосконаленню процесу прийняття рішень і дозволяють уникнути певних помилок щодо якості та надійності рішення, що зумовило широке використання їх у різних галузях. Basilio M.P. та ін. [7] представили систематизований огляд застосування методів MCDM за 1977–2022 роки.

Основні кроки процесу багатокритеріального прийняття рішень: визначення альтернатив та вибір критеріїв для оцінки альтернатив; визначення вагових коефіцієнтів кожного критерію; оцінювання альтернатив за кожним критерієм та застосування алгоритму, який оцінює альтернативи за сукупністю критеріїв, і надає рекомендацію у формі ранжування альтернатив [8, 9].

У кожній задачі MCDM є кілька альтернатив, які слід оцінювати за певними попередньо визначеними критеріями. У багатьох випадках важливість критеріїв і їх ваги в процесі прийняття рішення не однакові. Тому визначення ваг критеріїв є важливим питанням у прийнятті рішень [10]. Багато авторів, зокрема, G. Odu [3], M. Şahin [11], M. Keshavarz-Ghorabae [12], A. Krishnan [13], V. Paradowski [8], Do Duc Trung [14], акцентують увагу на важливість етапу визначення вагових коефіцієнтів критеріїв та відзначають високу чутливість прийняття рішення до змін вагових коефіцієнтів критеріїв. Тому процедури визначення ваг критеріїв широко досліджуються та обговорюються і в теорії, і в практиці застосування методів MCDM. Методи оцінки ваг критеріїв поділяють на суб'єктивні, об'єктивні та комбіновані [11,15].

Суб'єктивні методи вимагають певної початкової інформації від осіб, які приймають рішення, до визначення ваги, причому така інформація зазвичай надається на основі знань або досвіду осіб, які приймають рішення [13]. До суб'єктивних методів, зокрема, належать: метод розподілу балів (Point allocation), метод ранжирування (Ranking method), метод аналізу ієрархій (АНР –Analytic hierarchy process), метод SMART (Simple Multi-attribute Ranking Technique), метод BWM (Best–Worst method), метод SWARA (Step - method Wise Weight Assessment Ratio Analysis).

Об'єктивні методи не вимагають будь-якої первинної інформації чи судження від тих, хто приймає рішення. Вони просто оцінюють структуру даних, доступних у матриці прийняття рішень, щоб визначити ваги. Ці методи відомі тим, що усувають можливу упередженість, пов'язану з суб'єктивною оцінкою, таким чином підвищуючи об'єктивність [13]. Найпоширеніші об'єктивні методами є метод ентропії (Entropy

method), метод CRITIC (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation), метод стандартного відхилення (Standard deviation), метод ідеальної точки (Ideal point method).

Інтегрований підхід зважування базується на поєднанні суб'єктивних та об'єктивних методів зважування. Комбіновані методи використовують переваги осіб, які приймають рішення, та інформацію, що міститься в кожному критерії, тим самим зменшують можливу упередженість однієї з ваг (суб'єктивної чи об'єктивної). Таким чином, комбіновані методи можуть надавати більш реалістичні ваги критеріїв [3,12,16].

Огляд різних методів визначення ваг критеріїв, зокрема, представлено в роботах [3,11,12,15].

Для визначення найкращої альтернативи на сьогодні розроблена значна кількість методів MCDM, але за певних умов використання цих методів може дати різні результати. Тому, щоб переконатися, що обрана альтернатива є найкращою альтернативою, вчені зазвичай використовують більше одного методу одночасно [17].

Формулювання цілей статті

Метою статті є розробка моделі вибору телекомунікаційного обладнання, зокрема, кодеку мовних повідомлень, на основі методів MCDM, що дозволить підвищити ефективність процесу прийняття рішень при виборі телекомунікаційного обладнання.

Виклад основного матеріалу

Будь-яка проблема MCDM може бути описана матрицею рішень:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

де $A_i, (i = 1, 2, \dots, m)$ – альтернативи, $C_j, (j = 1, 2, \dots, n)$ – критерії, за якими оцінюються альтернативи, x_{ij} – оцінка i -ї альтернативи за j -м критерієм. Важливість кожного з критеріїв характеризується ваговим коефіцієнтом w_j .

В ході дослідження було використано дані деякого набору типових мовних кодеків (табл.1) [5,6]. В якості критеріїв обрано основні технічні характеристики мовних кодеків, що характеризують їх споживчі властивості [6], зокрема, C_1 – швидкість кодування, C_2 – оцінка якості мови, C_3 – складність реалізації, C_4 – сумарна затримка [18].

Важливим етапом процесу багатокритеріального прийняття рішень є визначення ваг критеріїв. В процесі прийняття рішень різні критерії мають різні рівні важливості, і всі вони повинні бути враховані при побудові моделі задачі багатокритеріального прийняття рішення. В попередніх дослідженнях авторів було доведено ефективність комбінованого методу визначення ваг критеріїв. Зокрема, було використано комбінований метод BWM-CRITIC та визначено ваги обраних критеріїв [18]: $w=(0,5885; 0,2011; 0,1701; 0,0403)$.

Таблиця 1

Значення технічних характеристик мовних кодеків

№	Тип кодека	Швидкість кодування	Оцінка якості, MOS	Складність реалізації, MIPS	Сумарна затримка
1	G.711	64	3,83	11,95	60
2	G.721	32	4,1	7,2	30
3	G.722	48	3,83	11,95	31,5
4	G.722(a)	56	4,5	11,95	31,5
5	G.722(b)	64	4,13	11,95	31,5
6	G.726	24	3,7	9,6	30
7	G.726(a)	32	4,05	9,6	30
8	G.726(b)	40	3,9	9,6	30
9	G.727	24	3,7	9,9	30
10	G.727(a)	24	3,7	9,9	30
11	G.727(b)	40	3,9	9,9	30
12	G.727(c)	16	4	9,9	30
13	G.728	16	4	25,5	30
14	G.728(a)	12,8	4,1	16	30
15	G.729	8	4,05	22,5	35
16	G.729a	8	3,95	10,7	35

Для вибору кращої альтернативи кодеку в даному дослідженні використано три методи, а саме TOPSIS, MARCOS та PIV, з метою отримання результатів ранжування альтернатив найбільш об'єктивним чином.

Метод TOPSIS є одним з найпопулярніших методів розв'язання багатокритеріальних задач, оскільки TOPSIS є простим для розуміння та інтерпретації методом. Проте, останнім часом з'явилося багато нових ефективних методів, зокрема, MARCOS та PIV. MARCOS – метод, який має багато підтверджених переваг: висока стабільність у ранжуванні альтернатив, можливість визначення найкращого рішення незалежно від кількості альтернатив і методу визначення ваг критеріїв. Метод PIV має перевагу в тому, що має мінімальну залежність від явища зміни рангів.

Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) вперше було розроблено С.Л. Hwang та К. Yoon у 1981 році для визначення найкращої альтернативи на основі концепції компромісного рішення. Ідея методу TOPSIS полягає у виборі альтернативи, найбільш близької до позитивного ідеального рішення (A^+) та найбільш віддаленої від негативного ідеального рішення (A^-) [19]. Позитивне та негативне ідеальні рішення – це штучні альтернативи, які визначає особа, яка приймає рішення, на основі ідеального рішення за всіма критеріями та найгіршого рішення, яке має найгірші показники змінних рішення. Алгоритм методу складається з наступних етапів [20].

Етап 1. Побудова матриці рішень.

Етап 2. Побудова нормалізованої матриці рішень згідно формул:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}, \text{ де } r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}.$$

Етап 3. Побудова зваженої нормалізованої матриці рішень з урахуванням ваг критеріїв:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}, \text{ де } v_{ij} = r_{ij}w_j.$$

Етап 4. Визначення ідеального позитивного рішення A^+ (ідеал) та ідеального негативного рішення A^- (анти-ідеал):

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+), \text{ де } v_j^+ = \begin{cases} \max_i v_{ij}, & j \in K_{\max} \\ \min_i v_{ij}, & j \in K_{\min} \end{cases}$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-), \text{ де } v_j^- = \begin{cases} \min_i v_{ij}, & j \in K_{\max} \\ \max_i v_{ij}, & j \in K_{\min} \end{cases}$$

K_{\max} – множина benefit-критеріїв тобто критеріїв, які необхідно максимізувати; K_{\min} – множина cost-критеріїв, тобто критеріїв, які необхідно мінімізувати.

Етап 5. Розрахунок відстані кожної альтернативи до ідеалу A^+ та анти-ідеалу A^- :

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{та} \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}.$$

Етап 7. Визначається інтегральний показник (коефіцієнт близькості до ідеального позитивного рішення) для кожної альтернативи:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}.$$

Етап 8. Ранжування альтернатив по інтегральному показнику C_i . Найкращій альтернативі відповідає найбільший C_i .

Метод MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution) вперше був запропонований у 2020 році Z. Stevic [21]. Проте цей метод вже застосовувався в ряді досліджень. Етапи реалізації прийняття рішень за методом MARCOS наступні.

Етап 1. Побудова матриці рішень.

Етап 2. Побудова розширеної матриці рішень шляхом додавання ідеальної альтернативи (AI) та анти-ідеальної альтернативи (AAI). Ідеальна альтернатива має максимальні оцінки для benefit-критеріїв (чим більше значення, тим краще) та мінімальні оцінки для cost-критеріїв (чим менше значення, тим краще). Анти-ідеальна альтернатива формується протилежним чином: мінімальні оцінки для benefit-критеріїв та максимальні оцінки для cost-критеріїв.

$$X^* = \begin{pmatrix} x_{aa1} & \dots & x_{aan} \\ x_{11} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \\ x_{a1} & \dots & x_{an} \end{pmatrix},$$

де $(x_{aa1}, x_{aa2}, \dots, x_{aan})$ – оцінки за критеріями анти-ідеальної альтернативи (AAI); $(x_{a1}, x_{a2}, \dots, x_{an})$ – оцінки за критеріями ідеальної альтернативи (AI).

Етап 3. Побудова нормалізованої розширеної матриці рішень згідно формул:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \quad \text{для benefit-критеріїв} \quad n_{ij} = \frac{x_{aj}}{x_{ij}} \quad \text{для cost-критеріїв.}$$

Етап 4. Побудова нормалізованої матриці з урахуванням ваг критеріїв:

$$v_{ij} = w_j \cdot n_{ij},$$

де w_j – ваговий коефіцієнт j критерію.

Етап 5. Обчислення рівня корисності.

Рівні корисності розраховуються для всіх альтернатив на основі ідеального та анти-ідеального рішень:

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{AAI}} \quad \text{та} \quad K_i^+ = \frac{S_i}{S_{AI}},$$

де $S_i = \sum_j v_{ij}$, $S_{AAI} = \sum_j x_{aa_j}$, $S_{AI} = \sum_j x_{aj}$.

Етап 6. Обчислення позитивної та негативної функцій корисності:

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad \text{та} \quad f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-}.$$

Етап 7. Обчислення загальної функції корисності та ранжування альтернатив:

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}}.$$

Альтернативи ранжуються у відповідності до значень функції корисності. Чим більше значення $f(K_i)$ тим краще.

Метод PIV (Proximity Indexed Value) був розроблений Mufazzal і Muzakkir у 2018 році. На даний час проведено ряд досліджень, що порівнюють PIV з іншими методами та підтверджують точність методу. Цей метод враховує близькість альтернатив до найкращого можливого значення. Перевагою цього методу є мінімізація явища зміни рангів. Завдяки цій перевазі PIV активно використовують у багатьох різних галузях [22]. Етапи реалізації багатокритеріального прийняття рішень за цим методом наступні.

Крок 1 Побудова матриці рішень.

Крок 2: Побудова нормалізованої матриці прийняття рішень за допомогою формули:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Крок 3: Побудова зваженої нормалізованої матриці рішень з урахуванням ваг критеріїв:

$$v_{ij} = r_{ij} w_j$$

де w_j є вагою критерію j .

Крок 4: Визначення зваженого індексу близькості.

$$u_{ij} = \max_i v_{ij} - v_{ij}, \quad \text{для benefit-критеріїв;} \quad u_{ij} = v_{ij} - \min_i v_{ij}, \quad \text{для cost-критеріїв.}$$

Крок 5. Визначення загального значення близькості.

$$d_i = \sum_{j=1}^n u_{ij}.$$

Крок 6. Ранжування альтернатив за принципом: найкращою є альтернатива із мінімальним d_i , тобто альтернатива з найменшим значенням d_i представляє мінімальне відхилення від найкращого рішення та займає перше місце.

Результати застосування трьох методів наведено в табл.2. Ранжування альтернатив по інтегральному показнику C_i (за методом TOPSIS) має наступний вигляд: $A_{16} > A_{14} > A_{12} > A_{15} > A_{13} > A_6 > A_9 = A_{10} > A_2 > A_7 > A_8 > A_{11} > A_3 > A_4 > A_5 > A_1$.

Ранжування альтернатив за значеннями загальної функції корисності $f(K_i)$ (згідно методу MARCOS) дає наступні результати: $A_{16} > A_{15} > A_{14} > A_{12} > A_{11} > A_6 > A_9 = A_{10} > A_2 > A_7 > A_8 > A_{11} > A_3 > A_4 > A_5 > A_1$, що дозволяє визначити найкращу альтернативу.

Ранжування альтернатив за значенням близькості d_i (за методом PIV) виглядає наступним чином: $A_{16} > A_{12} > A_{14} > A_{15} > A_6 > A_9 = A_{10} > A_{13} > A_2 > A_7 > A_8 > A_{11} > A_3 > A_4 > A_5 > A_1$.

В ранжуваннях за трьома методами є певні відмінності, проте найкращою альтернативою згідно всіх застосованих методів є A_{16} .

Таблиця 2

Результати застосування методів TOPSIS, MARCOS та PIV

№	Тип кодека	TOPSIS	ранг	MARCOS	ранг	PIV	ранг
1	G.711	0,161196	16	0,005713	16	0,257929	16
2	G.721	0,594661	9	0,010199	9	0,101589	9
3	G.722	0,325567	13	0,007186	13	0,185026	13
4	G.722(a)	0,223197	14	0,006666	14	0,208715	14
5	G.722(b)	0,164898	15	0,006029	15	0,245575	15
6	G.726	0,720377	6	0,012300	6	0,082169	5
7	G.726(a)	0,588603	10	0,009915	10	0,109911	10
8	G.726(b)	0,458925	11	0,008382	11	0,143985	11
9	G.727	0,719667	7,5	0,012275	7,5	0,083131	6,5
10	G.727(a)	0,719667	7,5	0,012275	7,5	0,083131	6,5
11	G.727(b)	0,4578	12	0,008358	12	0,144946	12
12	G.727(c)	0,854801	3	0,017328	4	0,047157	2
13	G.728	0,742086	5	0,016849	5	0,097139	8
14	G.728(a)	0,857816	2	0,020783	3	0,052565	3
15	G.729	0,820437	4	0,031733	2	0,056221	4
16	G.729a	0,945457	1	0,032085	1	0,01968	1

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Методологія багатокритеріального прийняття рішень дозволяє структурувати складні проблеми прийняття рішень. Це призводить до кращого розуміння проблем, спрощує процес прийняття рішень і підвищує його ефективність.

Ранжування альтернатив (мовних кодеків) та вибір кращої альтернативи в дослідженні виконано за допомогою методів TOPSIS, MARCOS та PIV. Визначено, що найкращою альтернативою за трьома методами є альтернатива A_{16} (кодек G.729a). Проте, порядок альтернатив від 2 позиції до 9 за трьома методами різняться. Що підтверджує тезу про те, що необхідно застосовувати не один метод при ранжуванні та виборі кращої альтернативи.

В подальших дослідженнях буде розглянуто застосування інших методів MCDM, з метою визначення кращих підходів до ефективного вибору телекомунікаційного обладнання.

Література

- Zhanasbayeva, A. Methods for substantiating decisions on the choice of the composition of telecommunications equipment / A. Zhanasbayeva, A. Tokhmetov, A. Amirova // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2021. – Vol.99, № 22. – P. 5582-5591.
- Сторчак, К.П. Технологія VoIP: навч. посіб / К.П. Сторчак, О.М. Ткаленко, О.А. Маркіна. – Київ: ДУТ, 2018. – 120 с.
- Odu, G.O. Weighting Methods for Multi-Criteria Decision Making / G.O. Odu // Technique. J. Appl. Sci. Environ. Manage. – 2019. – Vol. 23 (8). – P.1449-1457. DOI: [10.4314/jasem.v23i8.7](https://doi.org/10.4314/jasem.v23i8.7).
- Bezruk, V. Multicriteria selection of the optimal design options of telecommunication facilities / V. Bezruk, D. Chebotareva, Y. Skoryk // IAPGOS. – 2018. – № 4. – P. 16–19. DOI: [10.5604/01.3001.0012.8014](https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.8014).

5. Безрук, В.М. Многокритериальный анализ и выбор средств телекоммуникаций: монография / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва, Ю.В. Скорик. – Харьков: Компания СМІТ, 2017. – 268 с.
6. Мельнікова, Л.І. Застосування евристичної процедури багатокритеріальної оптимізації до вибору варіанта мовного кодеку в IP-мережі / Л.І. Мельнікова, О.В. Лінник, Н.В. Кривошапка, В.А. Барсук // Проблеми телекомунікацій. – 2020. – № 1 (26). – С. 23-32.
7. Basilio, M.P. A Systematic Review of the Applications of Multi-Criteria Decision Aid Methods (1977–2022) / M.P. Basilio, V. Pereira, H.G. Costa, M. Santos, A. Ghosh // Electronics. – 2022. – № 11, 1720. DOI: [10.3390/electronics11111720](https://doi.org/10.3390/electronics11111720).
8. Paradowski, B. Similarity Analysis of Methods for Objective Determination of Weights in Multi-Criteria Decision Support Systems / B. Paradowski, A. Shekhovtsov, A. Baczkiwicz, B. Kizielewicz, W. Sałabun // Symmetry. – 2021. – № 13, 1874. DOI: [10.3390/sym13101874](https://doi.org/10.3390/sym13101874).
9. Yazdani, M. A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems / M. Yazdani, P. Zarate, E.K. Zavadskas, Z. Turskis // Management Decision, Emerald. – 2019. – Vol. 57, № 9. – P.2501-2519. DOI:[10.1108/MD-05-2017-0458](https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458).
10. Naghizadeh Vardin, A. An Integrated Decision Support Model Based on BWM and Fuzzy-VIKOR Techniques for Contractor Selection in Construction Projects / Naghizadeh Vardin, A., Ansari, R., Khalilzadeh, M.; Antucheviciene, J.; Bausys, R. // Sustainability. – 2021. – № 13, 6933. DOI: [10.3390/su13126933](https://doi.org/10.3390/su13126933)
11. Şahin, M. A Comprehensive analysis of weighting and multicriteria methods in the context of sustainable energy / M.A. Şahin // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2021. – №18. – P. 1591–1616. DOI:[10.1007/s13762-020-02922-7](https://doi.org/10.1007/s13762-020-02922-7).
12. Keshavarz-Ghorabae, M. Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREK) / M. Keshavarz-Ghorabae, M. Amiri, E.K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene // Symmetry. – 2021. – №13, 525. DOI: [10.3390/sym13040525](https://doi.org/10.3390/sym13040525).
13. Krishnan, A.R. A Modified CRITIC Method to Estimate the Objective Weights of Decision Criteria / A.R. Krishnan, M.M. Kasim, R. Hamid, M.F. Ghazali // Symmetry. – 2021. – № 13, 973. DOI:[10.3390/sym13060973](https://doi.org/10.3390/sym13060973).
14. Trung, D. D. Multi-criteria decision making under the MARCOS method and the weighting methods: applied to milling, grinding and turning processes / D. D. Trung // Manufacturing Rev. – 2022. – № 9 (3). – P. 1-13. DOI: [10.1051/mfreview/2022003](https://doi.org/10.1051/mfreview/2022003).
15. Mukhametzyanov, I. Z. Specific character of objective methods for determining weights of criteria in MCDM problems: Entropy, CRITIC, SD / I.Z. Mukhametzyanov // Decision Making: Applications in Management and Engineering. – 2021. – Vol. 4, № 2. – P.76-105. DOI: [10.31181/dmame210402076i](https://doi.org/10.31181/dmame210402076i).
16. Chen, C.H. A Novel Multi-Criteria Decision-Making Model for Building Material Supplier Selection Based on Entropy-AHP Weighted TOPSIS / C.H. Chen // Entropy. – 2020. – № 22, 259. DOI: [10.3390/e22020259](https://doi.org/10.3390/e22020259).
17. Trinh Van Huy Multi-criteria decision-making for electric bicycle selection / Trinh Van Huy, Nguyen Quang Quyet, Vu Huu Binh, Tran Minh Hoang, Nguyen Thi Thuy Tien, Le Tuan Anh1, Dao Thi Nga, Nguyen Quoc Doan, Pham Hoang Tu, Do Duc Trung // Advanced Engineering Letters. – 2022. – Vol.1, №.4. – P. 126-135. DOI:[10.46793/adeletters.2022.1.4.2](https://doi.org/10.46793/adeletters.2022.1.4.2)
18. Pidchenko, S. A multi-criteria approach to decision-making in telecommunication network components selection / S. Pidchenko, O. Kucheruk, O. Pyvovar, V. Stetsiuk, V. Mishan // Radioelectronic and Computer Systems. – 2023. – №1(105). – P. 155-165. DOI: [10.32620/reks.2023.1.13](https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.13)
19. Halicka, K. Technology Selection Using the TOPSIS Method / K. Halicka // Foresight and STI Governance. – 2020. – Vol. 14, № 1. – P. 85–96.
20. Trung, D. D. A combination method for multi-criteria decision making problem in turning process / D. D. Trung // Manufacturing Rev. – 2021. – №8, 26. DOI:[10.1051/mfreview/2021024](https://doi.org/10.1051/mfreview/2021024)
21. Stevic, Z. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement Alternatives and Ranking according to COMpromise Solution (MARCOS) [Text] / Z. Stevic, D. Pamucar, A. Puska, P. Chatterjee // Comput. Ind. Eng. – 2020. – № 140. – P.1–33. DOI:10.1016/j.cie.2019.106231.
22. Trung, D. D. Combination of DOE and PIV methods for multi-criteria decision making / D. D. Trung, T. N. Tan // Journal of Applied Engineering Science. – 2023. – Vol. 21, № 1. – P. 361-373. DOI:10.5937/jaes0-41482

References

1. Zhanasbayeva, A. Methods for substantiating decisions on the choice of the composition of telecommunications equipment / A. Zhanasbayeva, A. Tokhmetov, A. Amirova // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2021. – Vol.99, № 22. – P. 5582-5591.
2. Storckak, K.P. Tekhnolohiia VoIP: navch. posib / K.P. Storckak, O.M. Tkalenko, O.A. Markina. – Kyiv: DUT, 2018. – 120 s.
3. Odu, G.O. Weighting Methods for Multi-Criteria Decision Making / G.O. Odu // Technique. J. Appl. Sci. Environ. Manage. – 2019. – Vol. 23 (8). – P.1449-1457. DOI: [10.4314/jasem.v23i8.7](https://doi.org/10.4314/jasem.v23i8.7).
4. Bezruk, V. Multicriteria selection of the optimal design options of telecommunication facilities / V. Bezruk, D. Chebotareva, Y. Skoryk // IAPGOS. – 2018. – № 4. – P. 16–19. DOI: [10.5604/01.3001.0012.8014](https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.8014).
5. Bezruk, V.M. Mnogokriterialnyj analiz i vybor sredstv telekommunikacij: monografiya / V.M. Bezruk, D.V. Chebotaryova, Yu.V. Skorik. – Harkov: Kompaniya SMIT, 2017. – 268 s.6. Melnikova, L.I. Zastosuvannia evrystychnoi protsedury bahatokryterialnoi optymizatsii do vyboru varianta movnoho kodeku v IP-merezhi / L.I. Melnikova, O.V. Linyk, N.V. Kryvoshapka, V.A. Barsuk // Problemy telekomunikatsii. – 2020. – № 1 (26). – S. 23-32.

7. Basilio, M.P. A Systematic Review of the Applications of Multi-Criteria Decision Aid Methods (1977–2022) / M.P. Basilio, V. Pereira, H.G. Costa, M. Santos, A. Ghosh // *Electronics*. – 2022. – № 11, 1720. DOI: [10.3390/electronics11111720](https://doi.org/10.3390/electronics11111720).
8. Paradowski, B. Similarity Analysis of Methods for Objective Determination of Weights in Multi-Criteria Decision Support Systems / B. Paradowski, A. Shekhovtsov, A. Baczkiewicz, B. Kizielewicz, W. Sałabun // *Symmetry*. – 2021. – № 13, 1874. DOI: [10.3390/sym13101874](https://doi.org/10.3390/sym13101874).
9. Yazdani, M. A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems / M. Yazdani, P. Zaraté, E.K. Zavadskas, Z. Turskis // *Management Decision, Emerald*. – 2019. – Vol. 57, № 9. – P.2501-2519. DOI: [10.1108/MD-05-2017-0458](https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458).
10. Naghizadeh Vardin, A. An Integrated Decision Support Model Based on BWM and Fuzzy-VIKOR Techniques for Contractor Selection in Construction Projects / Naghizadeh Vardin, A., Ansari, R., Khalilzadeh, M.; Antucheviciene, J.; Bausys, R. // *Sustainability*. – 2021. – № 13, 6933. DOI: [10.3390/su13126933](https://doi.org/10.3390/su13126933)
11. Şahin, M. A Comprehensive analysis of weighting and multicriteria methods in the context of sustainable energy / M.A. Şahin // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2021. – №18. – P. 1591–1616. DOI: [10.1007/s13762-020-02922-7](https://doi.org/10.1007/s13762-020-02922-7).
12. Keshavarz-Ghorabae, M. Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREK) / M. Keshavarz-Ghorabae, M. Amiri, E.K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene // *Symmetry*. – 2021. – №13, 525. DOI: [10.3390/sym13040525](https://doi.org/10.3390/sym13040525).
13. Krishnan, A.R. A Modified CRITIC Method to Estimate the Objective Weights of Decision Criteria / A.R. Krishnan, M.M. Kasim, R. Hamid, M.F. Ghazali // *Symmetry*. – 2021. – № 13, 973. DOI: [10.3390/sym13060973](https://doi.org/10.3390/sym13060973).
14. Trung, D. D. Multi-criteria decision making under the MARCOS method and the weighting methods: applied to milling, grinding and turning processes / D. D. Trung // *Manufacturing Rev.* – 2022. – № 9 (3). – P. 1-13. DOI: [10.1051/mfreview/2022003](https://doi.org/10.1051/mfreview/2022003).
15. Mukhametzyanov, I. Z. Specific character of objective methods for determining weights of criteria in MCDM problems: Entropy, CRITIC, SD / I.Z. Mukhametzyanov // *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. – 2021. – Vol. 4, № 2. – P.76-105. DOI: [10.31181/dmame210402076i](https://doi.org/10.31181/dmame210402076i).
16. Chen, C.H. A Novel Multi-Criteria Decision-Making Model for Building Material Supplier Selection Based on Entropy-AHP Weighted TOPSIS / C.H. Chen // *Entropy*. – 2020. – № 22, 259. DOI: [10.3390/e22020259](https://doi.org/10.3390/e22020259).
17. Trinh Van Huy Multi-criteria decision-making for electric bicycle selection / Trinh Van Huy, Nguyen Quang Quyet, Vu Huu Binh, Tran Minh Hoang, Nguyen Thi Thuy Tien, Le Tuan Anh I, Dao Thi Nga, Nguyen Quoc Doan, Pham Hoang Tu, Do Duc Trung // *Advanced Engineering Letters*. – 2022. – Vol.1, №4. – P. 126-135. DOI: [10.46793/adeletters.2022.1.4.2](https://doi.org/10.46793/adeletters.2022.1.4.2)
18. Pidchenko, S. A multi-criteria approach to decision-making in telecommunication network components selection / S. Pidchenko, O. Kucheruk, O. Pyvovar, V. Stetsiuk, V. Mishan // *Radioelectronic and Computer Systems*. – 2023. – №1(105). – P. 155-165. DOI: [10.32620/reks.2023.1.13](https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.13)
19. Halicka, K. Technology Selection Using the TOPSIS Method / K. Halicka // *Foresight and STI Governance*. – 2020. – Vol. 14, № 1. – P. 85–96.
20. Trung, D. D. A combination method for multi-criteria decision making problem in turning process / D. D. Trung // *Manufacturing Rev.* – 2021. – №8, 26. DOI: [10.1051/mfreview/2021024](https://doi.org/10.1051/mfreview/2021024)
21. Stevic, Z. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS) [Text] / Z. Stevic, D. Pamucar, A. Puska, P. Chatterjee // *Comput. Ind. Eng.* – 2020. – № 140. – P.1–33. DOI: [10.1016/j.cie.2019.106231](https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231).
22. Trung, D. D. Combination of DOE and PIV methods for multi-criteria decision making / D. D. Trung, T. N. Tan // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2023. – Vol. 21, № 1. – P. 361-373. DOI: [10.5937/jaes0-41482](https://doi.org/10.5937/jaes0-41482)