

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**ІВАНОВ ОЛЕКСІЙ**

АТ «Укртелеком»

<https://orcid.org/0000-0001-6119-4134>e-mail: ivanovov@ukrtelecom.ua**ГОРЯЩЕНКО КОСТЯНТИН**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7034-8702>e-mail: kostyakst@ukr.net

МЕТОД ВИБОРУ ТЕРМІНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

На даний час оптичний зв'язок є домінуючою технологією в кабельних каналах транспортних мереж, що працюють з потужними однорідними цифровими потоками даних. Раціональний вибір устаткування при проектуванні оптичних мереж є актуальним завданням на даний час. Для цього можуть бути використані багатокритеріальні методи прийняття рішень. В статті запропоновано метод для вибору оптичного лінійного терміналу з урахуванням набору критеріїв на основі нечітких методів Fuzzy SWARA та Fuzzy TOPSIS.

Ключові слова: оптичні мережі, оптичний лінійний термінал, методи MCDM, багатокритеріальний вибір, трикутні нечіткі числа.

PIDCHENKO SERGIY, KUCHERUK OKSANA, PYVOVAR OLEH, HORIASCHENKO KOSTYANTYN

Khmelnitskyi National University

IVANOV OLEKSII

"Ukrtelecom"

METHOD OF CHOOSING TERMINAL EQUIPMENT OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS BASED ON FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING

Currently, optical communication is the dominant technology in cable channels of transport networks, working with powerful homogeneous digital data streams. In particular, the PON (Passive Optical Network) technology is developing dynamically. However, one of the problems holding back PON development is the cost of line and subscriber equipment (Optical line terminal and Optical Network Unit). An urgent task at the moment is the rational choice of equipment when designing optical networks. Most problems in the design of telecommunication networks can be modeled as a multi-criteria decision-making problem, where it is necessary to evaluate several criteria and choose the most acceptable solution option for design engineers according to their preferences and requirements. The article considers the process of selecting an optical line terminal (OLT), which is associated with the evaluation of possible options by a set of indicators. The purpose of the study: building a model of the optimal choice of optical linear terminals in conditions of unclear information. The ambiguity of human judgments when evaluating the importance of criteria (indicators) and evaluating alternatives based on the criteria creates certain problems for decision-makers. The use of fuzzy logic allows processing inaccurate and uncertain information, providing a more complete and accurate assessment of alternatives and evaluation of the importance of criteria. The article proposes the use of fuzzy multi-criteria decision-making methods (Fuzzy MCDM). The Fuzzy SWARA and Fuzzy TOPSIS methods allow you to present an assessment of criteria and alternatives in a descriptive (linguistic) form, which facilitates the decision-making process. In the course of the research, alternatives and criteria for their evaluation were determined, a survey of experts was conducted, evaluations of the degree of importance of criteria and evaluation of alternatives according to criteria were determined. Based on the Fuzzy SWARA and Fuzzy TOPSIS methods, a fuzzy model for selecting an optical line terminal is built. The ranking of the selected optical linear terminals was obtained and the best one was determined.

Keywords: optical networks, optical line terminal, MCDM methods, triangular fuzzy numbers, Fuzzy SWARA, Fuzzy TOPSIS.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

За останні десятиліття споживання суспільством інформації зростало в геометричній прогресії та продовжить зростати в найближчому майбутньому. Оскільки трафік, що передається телекомунікаційними мережами, продовжує зростати, інженери стикаються з серйозними технічними та економічними проблемами, з якими їм доводиться стикатися при проектуванні як мереж передачі, так і мереж доступу [1].

Оптичний зв'язок є однією з найбільш перспективних технологій для задоволення зростаючих потреб телекомунікаційного ринку завдяки різкому збільшенню частотного ресурсу каналу передачі [2]. На

даний час оптичний зв'язок є домінуючою технологією в кабельних каналах транспортних мереж, що працюють з потужними однорідними цифровими потоками даних.

Для кабельних мереж доступу, які надають послуги безпосередньо абонентам, на ринку все ще домінує «мідна» проводова технологія, яка використовує добре розроблені та економічно ефективні засоби для обміну інформацією. Однак останнім часом для багатьох абонентів сервісів «мідних» технологій не вистачає, в першу чергу через необхідність збільшення пропускної спроможності. Використання ж оптичних транспортних технологій для абонентського доступу не є доцільним через збільшену вартість та складність розгортання оптичних індивідуальних каналів [3].

Компромiсним рішенням проблеми впровадження оптичних технологій в мережі доступу є використання технології пасивної оптичної мережі (PON – Passive Optical Network). Концепція даної технології полягає в застосуванні чисто оптичних способів об'єднання та розділення індивідуальних каналів без застосування складного електронного устаткування забезпечення множинного доступу. Це дозволяє підключити велику кількість щільно розташованих абонентів через оптичні лінії передачі з мінімальними капітальними витратами. З точки зору провайдера, технологія PON буде деревовидною топологією абонентської мережі на основі оптичних сплітерів для передачі інформації від терміналу оптичної лінії (OLT – Optical line terminal) до терміналу користувача (Optical Network Unit (ONU) або Optical Network Terminal (ONT) – в термінології PON).

Взаємодія OLT та ONU в прямому та зворотному каналах трафіку проходить по одному оптичному волокну на різних довжинах хвиль із застосуванням пасивної технології частотного поділу спільного ресурсу оптичної лінії WDM. Інформаційний потік індивідуальних каналів абонентів формується аналогічним чином, можливе також виділення окремих спільних каналів для передачі, наприклад, телебачення. Таким чином, з економічної точки зору, оптична технологія PON наблизилась до використовуваних наразі традиційних «мідних» рішень «останньої милі» [3].

Технологія PON динамічно розвивається. Наразі найбільш доцільним є використання варіантів GPON (Gigabit PON) та GEPON (Gigabit Ethernet PON), які забезпечують пропускну здатність каналів абонентського трафіку на рівні десятків гігабод на відстанях десятки кілометрів. Завдяки потужній пропускній спроможності, проста та дешева технологія PON може виступати як технологія локального транспорту для побудови віддалених мереж (сільських мереж) із низькою просторовою концентрацією ONU. З цієї причини багато невеликих операторів передачі даних активно цікавляться її потенційним розгортанням.

Розгортанню технології PON активно сприяють такі переваги, як економія оптичних волокон в оптичних кабелях; відсутність електроживлення солітерів; економія на кількості оптичних випромінювачів OLT; простота підключення абонентів; можливість динамічного керування пропускну спроможністю абонентів та рівнем потужності випромінювачів; простота обслуговування мережі. Однак основною проблемою, що стримує розвиток PON, є вартість лінійних та абонентських засобів (OLT і ONU).

З точки зору мережевих технологій OLT в технології PON реалізує не тільки функцію організації абонентських ліній, але одночасно є вузловим устаткуванням – комутатором рівня L4, що об'єднує функції маршрутизації (IP), фрагментації трафіку (VLAN), комутації (MAC), якості зв'язку (QoS) та ряду необхідних сервісних мережевих функцій. Велике інформаційне навантаження на програмно-апаратні тактико-технічні характеристики призводить до розуміння необхідності раціонального вибору оптичних лінійних терміналів провайдерами для потреб ефективної організації PON мереж доступу та взаємодії із вищевішніми транспортними мережами. Таким чином, необхідність розробки методології щодо раціонального вибору устаткування є актуальним завданням на даний час.

Зростаюча складність навколишнього світу та велика кількість проблем прийняття рішень призводять до того, що прийняття правильних рішень стає дедалі складнішим. Складні проблеми в науці, техніці чи управлінні зазвичай характеризуються кількома критеріями, які не завжди піддаються кількісній оцінці та як правило конфліктують або взаємодіють один з одним. Проблема вибору оптичних лінійних терміналів є однією з таких проблем.

Процеси прийняття рішень для вирішення таких проблем вимагають підтримки методів та інструментів, які мають готові процедури для зменшення невизначеності, вирішення конфліктів та обмеження кількості невідомих. У таких ситуаціях можуть бути використані багатокритеріальні методи прийняття рішень (Multiple Criteria Decision Making – MCDM), в яких надаються алгоритми для упорядкування можливих рішень та вибору найкращого варіанту [4].

В даний час методи багатокритеріального прийняття рішень мають велике значення, стали досить популярними та широко використовуються при вирішенні реальних проблем прийняття рішень в різних галузях. Багатокритеріальне прийняття рішень є одним з методологічних інструментів і для вирішення складних інженерних проблем. Більшість проблем при проектуванні телекомунікаційних мереж може бути змодельована як проблема MCDM, де необхідно оцінити за декількома критеріями та обрати найбільш прийнятний варіант рішення для інженерів-проектувальників відповідно до їхніх уподобань і вимог.

Аналіз досліджень та публікацій

Проблема раціонального вибору обладнання при проектуванні телекомунікаційних мереж нині є досить актуальною. Її розглядали в своїх роботах, зокрема, А. Zhanasbayeva [5], V. Bezruk [6], Л. Мельнікова [7], М. Kolisnyk [8], S. Pidchenko [9].

Однак у реальних умовах прийняття рішень часто неможливо описати фактичну ситуацію у чіткій та детермінований спосіб. Іншими словами, не можливо надати чітку кількісну оцінку всіх критеріїв та альтернатив. Це пов'язано з тим, що людські судження часто є нечіткими, а конкретні переваги не можуть бути оцінені в точних числових показниках. Крім того, дані, що використовуються в процесі прийняття рішень, можуть бути неповними або нечіткими. У таких ситуаціях класичні методи прийняття рішень втрачають свою актуальність [10, 11]. Більш реалістичним підходом є використання лінгвістичних змінних замість числових значень для оцінки критеріїв і альтернатив. Для роботи з даними та інформацією, що містять невизначеність, Заде (1965) запропонував використовувати теорію нечітких множин. Теорія нечітких множин дозволяє включати нечіткі або неповну інформацію в моделі прийняття рішень та надає математичний інструмент для врахування невизначеності, пов'язаної з лінгвістичними змінними, і допомагає виміряти неоднозначність понять, пов'язаних із суб'єктивним судженням людини [12].

Нині теорія нечітких множин застосовується при вирішенні проблем в інженерії, бізнесі, медицині та природничих науках. MCDM є однією з галузей, де теорія нечітких множин широко застосовується. Поєднання MCDM і теорії нечітких множин призвело до нової теорії прийняття рішень, яка сьогодні відома як нечітке багатокритеріальне прийняття рішень (Fuzzy MCDM або FMCDM). Розвиток і застосування нечітких методів MCDM значно збільшилися протягом останніх двох-трьох десятиліть [10, 13].

Одним з найпоширеніших методів FMCDM є метод Fuzzy TOPSIS (FTOPSIS). Класичний метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) був розроблений С.Л. Хванг та К. Юон у 1981 році. Ідея методу полягає у виборі альтернативи, яка є найближчою до позитивного ідеального рішення (PIS – positive ideal solution) і найвіддаленішою від негативного ідеального рішення (NIS – negative ideal solution) [14]. Позитивне та негативне ідеальні рішення – це штучні альтернативи, визначені особою, яка приймає рішення, при цьому PIS є ідеальним рішенням за всіма критеріями, а NIS – найгіршим рішенням за всіма критеріями [15].

У 2000 році Чен запропонував розширення методу TOPSIS на нечіткі числа. Таким чином, у методі Fuzzy TOPSIS в якості оптимального рішення обирається альтернатива, найближча до нечіткого позитивного ідеального рішення (FPIS – fuzzy positive ideal solution) і найвіддаленіша від нечіткого негативного ідеального рішення (FNIS – fuzzy negative ideal solution) [12].

Fuzzy TOPSIS використовувався в багатьох дослідженнях в останні роки. Зокрема, FTOPSIS використовували для вибору постачальника [16], вибору програмного забезпечення [17], вибору персоналу [18], оцінки якості веб-сайтів [19] та вибору додатків IoT [20].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: побудова моделі оптимального вибору оптичного лінійного терміналу в умовах нечіткої інформації.

Виклад основного матеріалу

Будь-яка проблема MCDM, що має m альтернатив, які оцінюються за n критеріями, може бути представлена матрицею рішень

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad W = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (1)$$

де A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – альтернативи, C_j ($j = 1, 2, \dots, n$) – критерії, x_{ij} – оцінка i -ї альтернативи за j -м критерієм, W – вектор вагових коефіцієнтів критеріїв.

Методи FMCDM для оцінки важливості критеріїв та оцінки альтернатив використовують лінгвістичні змінні, які можуть бути представлені нечіткими числами. Найчастіше використовуються трикутні та трапецевидні нечіткі числа.

Нечіткою множиною \tilde{A} на універсальній множині U називають сукупність впорядкованих пар: $\tilde{A} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x) \rangle | x \in U \}$, де $\mu_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0, 1]$ – функція приналежності [4].

Функція приналежності це певна математична функція, яка задає ступінь з якою елементи множини U належать нечіткій множині \tilde{A} . Чим більше аргумент x відповідає нечіткій множині \tilde{A} , тим більше значення $\mu_{\tilde{A}}(x)$. Нечітке число – це особлива форма нечіткої множини на множині дійсних чисел R .

Нечітким числом називається задана на множині дійсних чисел нечітка множина \tilde{A} , що має нормальну і опуклу функцію приналежності, тобто:

- $\sup_{x \in R} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1$;
- для будь-яких $x \leq y \leq z$ виконується нерівність $\mu_{\tilde{A}}(y) \geq \min \{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(z) \}$.

Трикутним нечітким числом називається нечітке число \tilde{A} , представлено трійкою дійсних чисел $\langle a, b, c \rangle$, де $a \leq b \leq c$, b є модальним значенням, а значення a і c представляють нижню та верхню межі числа \tilde{A} та визначають так звані ступінь розмитості числа. Функція приналежності трикутного нечіткого числа визначається наступним чином [12]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq a \text{ або } x \geq c, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{якщо } a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{якщо } b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2)$$

Трикутне нечітке число $\tilde{A} = (a, b, c)$, для якого $0 \leq a \leq b \leq c$, називається додатним трикутним нечітким числом. Основні алгебраїчні операції з двома додатними трикутними нечіткими числами $\tilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ та $\tilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ [4,12]:

- Додавання нечітких чисел (+): $\tilde{A}_1 (+) \tilde{A}_2 = (a_1, b_1, c_1) (+) (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$.
- Множення нечітких чисел (*): $\tilde{A}_1 (*) \tilde{A}_2 = (a_1, b_1, c_1) (*) (a_2, b_2, c_2) = (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2)$.
- Добуток дійсного числа k та нечіткого числа (*): $k (*) \tilde{A}_1 = (k, k, k) (*) (a_1, b_1, c_1) = (k \cdot a_1, k \cdot b_1, k \cdot c_1)$ для $k > 0$
- Віднімання нечітких чисел (-): $\tilde{A}_1 (-) \tilde{A}_2 = (a_1, b_1, c_1) (-) (a_2, b_2, c_2) = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2)$.
- Ділення нечітких чисел (/): $\tilde{A}_1 (/) \tilde{A}_2 = (a_1, b_1, c_1) (/) (a_2, b_2, c_2) = \left(\frac{a_1}{c_2}, \frac{b_1}{b_2}, \frac{c_1}{a_2} \right)$ для $a_2 > 0$.

Відстань між двома трикутними нечіткими числами $\tilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ та $\tilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ визначається наступним чином:

$$d(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2 \right]} \quad (3)$$

Відповідно проблему FMCDM представляють за допомогою нечіткої матриці рішень:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

де \tilde{x}_{ij} – лінгвістичні змінні, які описуються трикутними нечіткими числами $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$.

Вагові коефіцієнти критеріїв як правило теж представляються лінгвістичними змінними, які описуються трикутними нечіткими числами:

$$\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n), \text{ де } \tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \quad (5)$$

Алгоритм методу Fuzzy TOPSIS складається з наступних кроків [4, 12].

Крок 1. Побудова нечіткої матриці рішень (\tilde{X}).

Крок 2. Побудова нормалізованої нечіткої матриці рішень $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$, де

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{a_{\tilde{x}_{ij}}}{\max_i c_{\tilde{x}_{ij}}}, \frac{b_{\tilde{x}_{ij}}}{\max_i c_{\tilde{x}_{ij}}}, \frac{c_{\tilde{x}_{ij}}}{\max_i c_{\tilde{x}_{ij}}} \right) & \text{для benefit-критеріїв} \\ \left(\frac{\min_i a_{\tilde{x}_{ij}}}{c_{\tilde{x}_{ij}}}, \frac{\min_i a_{\tilde{x}_{ij}}}{b_{\tilde{x}_{ij}}}, \frac{\min_i a_{\tilde{x}_{ij}}}{a_{\tilde{x}_{ij}}} \right) & \text{для cost-критеріїв} \end{cases} \quad (6)$$

Крок 3. Побудова зваженої нормалізованої нечіткої матриці

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \text{ де } \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} (*) \tilde{w}_j \quad (7)$$

Крок 4. Визначення нечіткого ідеального позитивного рішення \tilde{A}^+ (ідеал) та нечіткого ідеального негативного рішення \tilde{A}^- (анти-ідеал):

$$\tilde{A}^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) = \left(\max_i \tilde{v}_{i1}, \max_i \tilde{v}_{i2}, \dots, \max_i \tilde{v}_{in} \right), \text{ де } \max_i \tilde{v}_{ij} = \left(\max_i a_{\tilde{v}_{ij}}, \max_i b_{\tilde{v}_{ij}}, \max_i c_{\tilde{v}_{ij}} \right) \quad (8)$$

$$\tilde{A}^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) = \left(\min_i \tilde{v}_{i1}, \min_i \tilde{v}_{i2}, \dots, \min_i \tilde{v}_{in} \right), \text{ де } \min_i \tilde{v}_{ij} = \left(\min_i a_{\tilde{v}_{ij}}, \min_i b_{\tilde{v}_{ij}}, \min_i c_{\tilde{v}_{ij}} \right) \quad (9)$$

Крок 5. Обчислення відстані від кожної альтернативи до ідеалу \tilde{A}^+ та анти-ідеалу \tilde{A}^- :

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad \text{та} \quad d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-). \quad (10)$$

Крок 6. Обчислення інтегрального показника (коефіцієнт близькості до ідеального позитивного рішення \tilde{A}^+) для кожної альтернативи A_i :

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (11)$$

Крок 7. Ранжування альтернатив по інтегральному показнику CC_i . Найкращій альтернативі відповідає найбільший CC_i .

Визначення ваги критеріїв у багатокритеріальних моделях прийняття рішень завжди є важливим процесом, який має значний вплив на кінцевий результат прийняття рішення [21]. В методі Fuzzy TOPSIS також необхідно використати вагові коефіцієнти критеріїв.

Для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв було використано метод Fuzzy SWARA. Метод поетапного аналізу коефіцієнта оцінки ваги (SWARA) був представлений V. Kersulienė у 2010 році. Процес визначення ваг критеріїв за допомогою нечіткого методу SWARA подібний до процесу в звичайному методі SWARA. Алгоритм методу Fuzzy SWARA:

Крок 1. Критерії слід проранжувати в порядку спадання за рівнем їх очікуваної значущості, тобто найбільш значущий критерій призначається першим, а найменш значущий критерій призначається останнім [12].

Крок 2: Починаючи з другого критерію, кожна особа, яка приймає рішення (загалом K експертів), виражає свою думку про відносну важливість критерію j щодо попереднього $j-1$ для всіх розглянутих критеріїв. Це співвідношення називається порівняльною важливістю середнього значення s_j [12]. Для цього застосовується нечітка шкала порівняння, наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Шкала нечіткого порівняння для оцінки критеріїв [12]

Лінгвістична змінна	Шкала
Однаково важливі	(1, 1, 1)
Помірно менш важливий	(2/3, 1, 3/2)
Менш важливий	(2/5, 1/2, 2/3)
Дуже менш важливий	(2/7, 1/3, 2/5)
Набагато менш важливий	(2/9, 1/4, 2/7)

Для агрегації оцінок експертів зазвичай використовується поняття середнього геометричного, середнього арифметичного або інші ідеї, які допомагають визначати сукупні оцінки ваг критеріїв та альтернатив за критеріями. Так D. Kasprzak в своїй праці [4] виділив чотири підходи до визначення сукупної думки експертів, а саме за допомогою: середнього арифметичного, модифікованого середнього арифметичного, середнього геометричного та модифікованого середнього геометричного. G. Petrović [12] пропонує в методі Fuzzy SWARA використовувати модифіковане середнє арифметичне. Отже,

$$\tilde{s}_j = \left(\min_k a_{ij}^k, \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k, \max_k c_{ij}^k \right). \quad (12)$$

Крок 3: Обчислюються значення коефіцієнтів \tilde{k}_j , нечіткі ваги \tilde{q}_j та остаточні ваги критеріїв за наступними формулами:

- Значення коефіцієнта \tilde{k}_j :

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1}, & \text{якщо } j = 1 \\ \tilde{s}_j (+) \tilde{1}, & \text{якщо } j > 1 \end{cases} \quad (13)$$

– Нечіткі перераховані ваги \tilde{q}_j :

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1}, & \text{якщо } j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j}, & \text{якщо } j > 1 \end{cases} \quad (14)$$

– Остаточні відносні ваги критеріїв \tilde{w}_j :

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \quad (15)$$

В ході дослідження було використано дані щодо характеристик оптичних лінійних терміналів, надані представниками Хмельницької філії АТ «Укртелеком». В якості альтернатив розглядалися наступні оптичні лінійні термінали: A_1 – Оптичний лінійний термінал BDCOM P3600-04; A_2 – оптичний лінійний термінал BDCOM GP3600-08B; A_3 – оптичний лінійний термінал BDCOM GP3600-16B; A_4 – оптичний лінійний термінал BDCOM P3600-16E; A_5 – оптичний лінійний термінал BDCOM P3600-08E.

В якості критеріїв було обрано такі характеристики оптичних лінійних терміналів: C_1 – кількість PON портів; C_2 – пропускна здатність backplane; C_3 – таблиця MAC адрес; C_4 – таблиця маршрутизації IPv4; C_5 – таблиця маршрутизації IPv6; C_6 – живлення (AC power supply); C_7 – вага; C_8 – Uplink інтерфейси; C_9 – типи модулів PON, що підтримуються.

Метод Fuzzy SWARA застосовано для обчислення ваг критеріїв. Відповідно до кроку 1 критерії проранжовано в порядку спадання щодо їх очікуваної значущості: $C_8 \rightarrow C_1 \rightarrow C_4 \rightarrow C_9 \rightarrow C_2 \rightarrow C_5 \rightarrow C_3 \rightarrow C_6 \rightarrow C_7$. На другому кроці відносна важливість кожного критерію по відношенню до попереднього виражалась трьома експертами (E_1, E_2, E_3). Результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння відносної важливості критеріїв експертами

Критерії	E_1			E_2			E_3		
	C_1 до C_8	0,667	1,000	1,500	1,000	1,000	1,000	0,667	1,000
C_4 до C_1	0,667	1,000	1,500	0,667	1,000	1,500	1,000	1,000	1,000
C_9 до C_4	1,000	1,000	1,000	0,667	1,000	1,500	0,667	1,000	1,500
C_2 до C_9	0,400	0,500	0,667	0,667	1,000	1,500	0,667	1,000	1,500
C_5 до C_2	0,400	0,500	0,667	0,400	0,500	0,667	0,667	1,000	1,500
C_3 до C_5	0,400	0,500	0,667	1,000	1,000	1,000	0,667	1,000	1,500
C_6 до C_3	0,667	1,000	1,500	0,400	0,500	0,667	0,286	0,333	0,400
C_7 до C_6	0,400	0,500	0,667	0,400	0,500	0,667	0,667	1,000	1,500

Усі подальші розрахунки (крок 3) і результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Ваги критеріїв, отримані за допомогою методу SWARA

Критерії	\tilde{s}_j			\tilde{k}_j			\tilde{q}_j			\tilde{w}_j		
	C_8	-	-	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,381	0,493
C_1	0,667	1,000	1,500	1,667	2,000	2,500	0,400	0,500	0,600	0,152	0,246	0,360
C_4	0,667	1,000	1,500	1,667	2,000	2,500	0,160	0,250	0,360	0,061	0,123	0,216
C_9	0,667	1,000	1,500	1,667	2,000	2,500	0,064	0,125	0,216	0,024	0,062	0,130
C_2	0,400	0,833	1,500	1,400	1,833	2,500	0,026	0,068	0,154	0,010	0,034	0,093
C_5	0,400	0,667	1,500	1,400	1,667	2,500	0,010	0,041	0,110	0,004	0,020	0,066
C_3	0,400	0,833	1,500	1,400	1,833	2,500	0,004	0,022	0,079	0,002	0,011	0,047
C_6	0,286	0,611	1,500	1,286	1,611	2,500	0,002	0,014	0,061	0,001	0,007	0,037
C_7	0,400	0,667	1,500	1,400	1,667	2,500	0,001	0,008	0,044	0,000	0,004	0,026

Оцінка альтернатив за критеріями відбувається за допомогою лінгвістичних змінних, які можуть бути представлені трикутними нечіткими числами, як показано в таблиці 4. Результати опитування експертів, а саме оцінки альтернатив за критеріями виражені трикутними нечіткими числами, представлено в таблиці 5.

Для подальшого застосування методу Fuzzy TOPSIS було агреговано думки експертів, використовуючи модифіковане середнє арифметичне. Таким чином, сформовано нечітку матрицю рішень та вектор вагових коефіцієнтів (таблиця 6).

Таблиця 4

Лінгвістичні змінні для оцінки альтернатив [23]

Лінгвістична змінна	Нечітке число
Дуже погано	(1,1,3)
Погано	(1,3,5)
Достатньо	(3,5,7)
Добре	(5,7,9)
Дуже добре	(7,9,9)

Таблиця 5

Оцінки альтернатив за критеріями виражені трикутними нечіткими числами

Альтернативи	Експерти	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
A ₁	E ₁	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
	E ₂	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
	E ₃	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
A ₂	E ₁	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
	E ₂	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
	E ₃	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
A ₃	E ₁	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
	E ₂	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
	E ₃	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
A ₄	E ₁	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
	E ₂	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
	E ₃	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
A ₅	E ₁	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
	E ₂	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
	E ₃	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)

Таблиця 6

Нечітка матриця рішень

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	\tilde{w}_j
C ₈	(3; 6,3; 9)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(3; 6,3; 9)	(5; 7; 9)	(0,381; 0,493; 0,600)
C ₁	(3; 5; 7)	(3; 6,3; 9)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(0,152; 0,246; 0,360)
C ₄	(3; 6,3; 9)	(7; 9; 9)	(5; 8,3; 9)	(5; 7,7; 9)	(5; 8,3; 9)	(0,061; 0,123; 0,216)
C ₉	(3; 5,7; 9)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(3; 6,3; 9)	(3; 6,3; 9)	(0,024; 0,062; 0,130)
C ₂	(5; 7; 9)	(3; 6,3; 9)	(5; 7; 9)	(7; 9; 9)	(5; 8,3; 9)	(0,010; 0,034; 0,093)
C ₅	(3; 7; 9)	(7; 9; 9)	(5; 8,3; 9)	(3; 7; 9)	(5; 8,3; 9)	(0,004; 0,020; 0,066)
C ₃	(1, 4,3, 7)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(3; 6,3; 9)	(3; 6,3; 9)	(0,002; 0,011; 0,047)
C ₆	(3; 7; 9)	(5; 8,3; 9)	(7; 9; 9)	(5; 8,3; 9)	(5; 7,7; 9)	(0,001; 0,007; 0,037)
C ₇	(5; 7,7; 9)	(5; 7,7; 9)	(5; 7,7; 9)	(5; 8,3; 9)	(5; 8,3; 9)	(0,000; 0,004; 0,026)

На наступному кроці нечітку матрицю рішень було нормалізовано, згідно (6). Потім, з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв, було визначено зважену нормалізовану нечітку матрицю та нечіткі ідеальне позитивне рішення \tilde{A}^+ та ідеальне негативне рішення \tilde{A}^- (згідно (8) – (9)). Далі було обчислено відстані від кожної альтернативи до ідеалу \tilde{A}^+ та анти-ідеалу \tilde{A}^- , використовуючи (10). Обчислення інтегрального показника для кожної альтернативи A_i , згідно (11), дозволяє створити рейтинг альтернатив (таблиця 7). Було одержано наступний рейтинг: $A_3 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_1$. Отже, кращою альтернативою є альтернатива A_3 .

Таблиця 7

Значення інтегрального показника згідно методу Fuzzy TOPSIS					
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
CC	0,008	0,782	0,945	0,421	0,502

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Враховуючи високу вартість сучасного телекомунікаційного обладнання, раціональний вибір оптичних лінійних терміналів провайдерів є задачею прийняття рішення з урахуванням набору критеріїв, які суперечать один одному.

В статті запропоновано метод для вибору оптичного лінійного терміналу з урахуванням набору критеріїв на основі нечітких методів Fuzzy SWARA та Fuzzy TOPSIS.

Неоднозначність людських суджень при оцінюванні важливості критеріїв та оцінюванні альтернатив за критеріями створює певні проблеми для осіб, які приймають рішення. Використання нечіткої логіки дозволяє обробляти неточну та невизначену інформацію, забезпечуючи більш повну та точну оцінку альтернатив та оцінку важливості критеріїв. Основна перевага нечіткого прийняття рішень полягає в тому, що воно надає структуру з більшою гнучкістю для вирішення проблем, які виникають через брак інформації. Методи Fuzzy SWARA та Fuzzy TOPSIS дозволяють подати оцінку критеріїв та альтернатив в описовій (лінгвістичній) формі, що полегшує процес прийняття рішення.

Таким чином, в ході дослідження побудовано метод оптимального вибору оптичних лінійних терміналів. Одержано наступний рейтинг альтернатив: $A_3 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_1$. Визначено найкращою альтернативою A_3 (оптичний лінійний термінал BDCOM GP3600-16B).

У подальших дослідженнях планується використати трапецієвидні нечіткі числа для трактування лінгвістичних змінних і порівняти результати моделювання з одержаними в цьому дослідженні.

Література

1. Marom D. M. Optical Switching in Future Fiber-Optic Networks Utilizing Spectral and Spatial Degrees of Freedom / D. M. Marom, Y. Miyamoto, D. T. Neilson, I. Tomkos // Proceedings of the IEEE. – 2022. – Vol. 110, No. 11. – P.1835-1852. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2022.3207576>.
2. Hall M. N. A Survey of Reconfigurable Optical Networks / M. N. Hall, K. Foerster, S. Schmid, R. Durairajan // Optical Switching and Networking. – 2021. – Vol. 41. – 100621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.osn.2021.100621>
3. Pidchenko S. Multi-criteria model for selection of optical linear terminals based on FUZZY TOPSIS method / S. Pidchenko, O. Kucheruk, I. Drach, O. Pyvovar // Radioelectronic and Computer Systems, 2024, no. 1(109), pp. 65-75. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2024.1.06>
4. Kacprzak D. Podwójna rozmyta metoda TOPSIS wspomagająca podejmowanie decyzji grupowych / D. Kacprzak // Przegląd statystyczny. – 2019. – Tom LXVI, Zeszyt 1. – S. 27-50. DOI: <https://doi.org/0.5604/01.3001.0013.8363>
5. 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, no 22. – P. 5582-5591.
6. Bezruk V. Multicriteria selection of the optimal design options of telecommunication facilities / V. Bezruk, D. Chebotareva, Y. Skoryk // IAPGOS. – 2018. – no. 4, P. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.8014>
7. Мельнікова Л.І. Застосування евристичної процедури багатокритеріальної оптимізації до вибору варіанта мовного кодексу в IP-мережі / Л.І. Мельнікова, О.В. Лінник, Н.В. Кривошапка, В.А. Барсук // Проблеми телекомунікацій. – 2020. – № 1 (26). – С. 23-32.
8. Kolisnyk M. Vulnerability analysis and method of selection of communication protocols for information transfer in internet of things systems / M. Kolisnyk // Radioelectronic and Computer Systems. – 2021. – № 1(97). – P. 133-149. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.12>
9. 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: <https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.13>
10. Antucheviciene J. Solving Civil Engineering Problems by Means of Fuzzy and Stochastic MCDM Methods: Current State and Future Research / J. Antucheviciene, Z. Kala, M. Marzouk, E. R. Vaidogas // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – Vol. 2015. – Article ID 362579. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/362579>
11. Naghizadeh Vardin A. An Integrated Decision Support Model Based on BWM and Fuzzy-VIKOR Techniques for Contractor Selection in Construction Projects / A. Naghizadeh Vardin, R. Ansari, M. Khalilzadeh, J. Antucheviciene, R. Bausys // Sustainability. – 2021. – №13. – 6933. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126933>

12. Petrović G. Comparison of three fuzzy mcdm methods for solving the supplier selection problem / G. Petrović, J. Mihajlović, Ž. Čojbašić, M. Madić, D. Marinković // *Facta universitatis. Series: Mechanical Engineering*. – 2019. – Vol. 17, № 3. – P. 455 – 469.
13. Nādāban S. Fuzzy TOPSIS: A General View / S. Nādāban, S. Dzitac, I. Dzitac // *Procedia Computer Science*. – 2016. – № 91. – P. 823 – 831. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.088>
14. Halicka K. Technology Selection Using the TOPSIS Method / K. Halicka // *Foresight and STI Governance*. – 2020. – Vol. 14, № 1. – P. 85–96.
15. Підченко С. Вибір телекомунікаційного обладнання в системах передачі мовних повідомлень / С. Підченко, О. Кучерук, О. Пивовар // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2023. – №5, Том 2. – С.192-199. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-327-5-192-199>
16. Sun H. A Hybrid Model Based on SEM and Fuzzy TOPSIS for Supplier Selection / H. Sun, B. Zhang, W. Ni // *Mathematics*. – 2022. – № 10. – 3505. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10193505>
17. Salimov V. Application of TOPSIS Method with Trapezoidal Fuzzy Numbers / V. Salimov // *Science Review*. – 2021. – №1(36). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7377
18. Aliyeva K. Multifactor Personnel Selection by the Fuzzy TOPSIS Method / K. Aliyeva // *International Conference on Theory and Applications of Fuzzy Systems and Soft Computing, Springer*. – 2019. – №1. – P.478-483.
19. Jefmański B. Rozmyta metoda TOPSIS jako narzędzie identyfikacji determinant jakości usług i produktów / B. Jefmański // *Handel wewnętrznny*. – 2013. – №5(346). – S.28-41.
20. Alojaiman B. A Multi-Criteria Decision-Making Process for the Selection of an Efficient and Reliable IoT Application / B. Alojaiman // *Processes*. – 2023. – № 11. – 1313. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11051313>
21. Pamučar D. A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM) / D. Pamučar, Ž. Stević, S. Sremac // *Symmetry*. – 2018. – № 10. – 393. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
22. Tubis A. Fuzzy TOPSIS in selecting logistic handling operator: case study from Poland / A. Tubis, S. Werbińska-Wojciechowska // *Transport*. – 2023. – № 38(1). – P.12–30. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2023.17074>
23. Zulqarnain M. Choose Best Criteria for Decision Making Via Fuzzy Topsis Method / M. Zulqarnain, F. Dayan // *Mathematics and Computer Science*. – 2017. – № 2(6). – P. 113-119. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.mcs.20170206.14>

References

1. Marom D. M. Optical Switching in Future Fiber-Optic Networks Utilizing Spectral and Spatial Degrees of Freedom / D. M. Marom, Y. Miyamoto, D. T. Neilson, I. Tomkos // *Proceedings of the IEEE*. – 2022. – Vol. 110, No. 11. – P.1835-1852. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2022.3207576>.
2. Hall M. N. A Survey of Reconfigurable Optical Networks / M. N. Hall, K. Foerster, S. Schmid, R. Durairajan // *Optical Switching and Networking*. – 2021. – Vol. 41. – 100621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.osn.2021.100621>
3. Pidchenko S. Multi-criteria model for selection of optical linear terminals based on FUZZY TOPSIS method / S. Pidchenko, O. Kucheruk, I. Drach, O. Pyvovar // *Radioelectronic and Computer Systems*, 2024, no. 1(109), pp. 65-75. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2024.1.06>
4. Kacprzak D. Podwójna rozmyta metoda TOPSIS wspomagająca podejmowanie decyzji grupowych / D. Kacprzak // *Przegląd statystyczny*. – 2019. – Tom LXVI, Zeszyt 1. – S. 27-50. DOI: <https://doi.org/0.5604/01.3001.0013.8363>
5. Zhanasbayeva A. Methods for substantiating decisions on the choice of the composition of telecommunications equipment / A. Zhanasbayeva, A. Tokmetov, A. Amirova // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2021. – Vol.99, no 22. – P. 5582-5591.
6. Bezruk V. Multicriteria selection of the optimal design options of telecommunication facilities / V. Bezruk, D. Chebotareva, Y. Skoryk // *IAPGOS*. – 2018. – no. 4, P. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.8014>
7. Melnikova L.I. Zastosuвання evrstychnoi 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.
8. Kolisnyk M. Vulnerability analysis and method of selection of communication protocols for information transfer in internet of things systems / M. Kolisnyk // *Radioelectronic and Computer Systems*. – 2021. – № 1(97). – P. 133-149. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.12>
9. 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: <https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.13>
10. Antucheviciene J. Solving Civil Engineering Problems by Means of Fuzzy and Stochastic MCDM Methods: Current State and Future Research / J. Antucheviciene, Z. Kala, M. Marzouk, E. R. Vaidogas // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2015. – Vol. 2015. – Article ID 362579. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/362579>
11. Naghizadeh Vardin A. An Integrated Decision Support Model Based on BWM and Fuzzy-VIKOR Techniques for Contractor Selection in Construction Projects / A. Naghizadeh Vardin, R. Ansari, M. Khalilzadeh, J. Antucheviciene, R. Bausys // *Sustainability*. – 2021. – №13. – 6933. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126933>
12. Petrović G. Comparison of three fuzzy mcdm methods for solving the supplier selection problem / G. Petrović, J. Mihajlović, Ž. Čojbašić, M. Madić, D. Marinković // *Facta universitatis. Series: Mechanical Engineering*. – 2019. – Vol. 17, № 3. – P. 455 – 469.
13. Nādāban S. Fuzzy TOPSIS: A General View / S. Nādāban, S. Dzitac, I. Dzitac // *Procedia Computer Science*. – 2016. – № 91. – P. 823 – 831. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.088>
14. Halicka K. Technology Selection Using the TOPSIS Method / K. Halicka // *Foresight and STI Governance*. – 2020. – Vol. 14, № 1. – P. 85–96.
15. Pidchenko S. Vybir telekomunikatsiinoho obladdannia v systemakh peredachi movnykh povidomlen / S. Pidchenko, O. Kucheruk, O. Pyvovar // *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. – 2023. – №5, Том 2. – S.192-199. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-327-5-192-199>

16. Sun H. A Hybrid Model Based on SEM and Fuzzy TOPSIS for Supplier Selection / H. Sun, B. Zhang, W. Ni // *Mathematics*. – 2022. – № 10. – 3505. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10193505>
17. Salimov V. Application of TOPSIS Method with Trapezoidal Fuzzy Numbers / V. Salimov // *Science Review*. – 2021. – №1(36). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7377
18. Aliyeva K. Multifactor Personnel Selection by the Fuzzy TOPSIS Method / K. Aliyeva // *International Conference on Theory and Applications of Fuzzy Systems and Soft Computing*, Springer. – 2019. – №1. – P.478-483.
19. Jefmański B. Rozmyta metoda TOPSIS jako narzędzie identyfikacji determinant jakości usług i produktów / B. Jefmański // *Handel wewnętrzny*. – 2013. – №5(346). – S.28-41.
20. Alojaiman B. A Multi-Criteria Decision-Making Process for the Selection of an Efficient and Reliable IoT Application / B. Alojaiman // *Processes*. – 2023. – № 11. – 1313. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11051313>
21. Pamučar D. A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM) / D. Pamučar, Ž. Stević, S. Sremac // *Symmetry*. – 2018. – № 10. – 393. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
22. Tubis A. Fuzzy TOPSIS in selecting logistic handling operator: case study from Poland / A. Tubis, S. Werbińska-Wojciechowska // *Transport*. – 2023. – № 38(1). – P.12-30. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2023.17074>
23. Zulqarnain M. Choose Best Criteria for Decision Making Via Fuzzy Topsis Method / M. Zulqarnain, F. Dayan // *Mathematics and Computer Science*. – 2017. – № 2(6). – P. 113-119. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.mcs.20170206.14>