

Пивовар О. С.

Хмельницький національний університет

Кучерук О. Я.

Хмельницький національний університет

Кисіль Т. М.

Хмельницький національний університет

НЕЧІТКИЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ДЛЯ ВИБОРУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Стаття присвячена питанню раціонального вибору телекомунікаційного обладнання. В роботі зазначено, що кращим підходом для вирішення таких питань є методи багатокритеріального прийняття рішень. Переважна кількість та обсяг глобальних наземних транспортних мереж на сучасний день реалізовано на основі оптичних технологій передачі даних. З початку нового тисячоліття оптичні технології поступово витісняють традиційні мідні технології також і в мережах абонентського доступу. Цьому, в першу чергу, сприяла поява технологій пасивних оптичних мереж PON. Побудова економічно ефективних PON вимагає науково обґрунтованого підходу до вибору відповідного обладнання, зокрема, оптичних лінійних терміналів. В таких ситуаціях найбільш доцільним є застосування методів та методик багатокритеріального прийняття рішень (MCDM). Враховуючи, що більшість рішень в галузі техніки приймаються в умовах невизначеності, то варто використовувати методи Fuzzy MCDM. Реалізація нечіткої логіки в поєднанні з методами MCDM стає все більш популярною і є потужним інструментом для вирішення складних проблем прийняття рішень. Методи Fuzzy MCDM надають структуру з більшою гнучкістю для вирішення проблем, які виникають через брак або неточність інформації. Найбільшою проблемою щодо застосування методів MCDM у практичних застосуваннях є труднощі визначення найкращого методу для даної досліджуваної проблеми, оскільки застосування різних методів MCDM може призвести до різних рейтингів. Тому варто використовувати більше одного методу одночасно. У статті розглянуто використання методів Fuzzy MCDM для побудови моделі оптимального вибору телекомунікаційного обладнання в умовах нечіткої інформації на основі поєднання методів Fuzzy MCDM, на прикладі вибору оптичного лінійного терміналу. Продемонстровано застосування трьох нечітких підходів MCDM (Fuzzy SWARA + Fuzzy TOPSIS, Fuzzy SWARA + Fuzzy MARCOS і Fuzzy SWARA + Fuzzy ARAS) для вибору оптичного лінійного терміналу. Визначено найкращу альтернативу в кожному підході та порівняно результати.

Ключові слова: оптичні мережі, оптичний лінійний термінал, методи Fuzzy MCDM, Fuzzy MARCOS, Fuzzy ARAS.

Постановка проблеми. Існування та подальший розвиток сучасного суспільства у всіх аспектах спряжений із невід'ємною потребою в досконалості обміні інформацією відповідно постійно зростаючим обсягам інформаційних повідомлень та вимогам щодо надійності їх доставки адресатам. Реалізація цих завдань неможлива без розробки та раціонального використання техніки та технологій прогресивних мереж нового покоління, що органічно передбачають можливість масштабування та удосконалення в рамках мережевої інфраструктури передачі даних.

Природні, технічні та економічні обмеження використання провідних (мідних) технологій

щодо забезпечення потреб систем електронних комунікацій обумовлені високим рівнем загасання сигналів в мідних лініях, чутливістю до електромагнітних завад, необхідністю додаткового захисту, зростанням вартості кольорових металів, тощо. Завдяки цим факторам переважна кількість та обсяг глобальних наземних транспортних мереж вже реалізовано на основі оптичних технологій передачі даних [1].

З початку нового тисячоліття оптичні технології поступово витісняють традиційні мідні технології також і в мережах абонентського доступу (AN – англ. Access Network). Цьому, в першу чергу, сприяла поява технологій пасивних оптич-

них мереж PON (англ. Passive optical network), що дозволила використати переваги оптичного з'єднання із збереженням доступності його прокладання безпосередньо до абонентських терміналів [2].

Підвищена пропускна спроможність оптичного з'єднання в абонентських мережах, високий рівень надійності та захисту від несанкціонованого доступу дозволяє не тільки врахувати перспективи подальшого збільшення інформаційного навантаження абонентського каналу передачі але і розширити коло абонентів та пристроїв доступу із урахуванням покращеної енергоефективності, можливості використання технологій інтернету речей IoT (англ. Internet of Things), розподілених технологій локальних обчислень HPC (англ. High Performance Computing) та збереження даних DDB (англ. Distributed DataBase), широкого застосування штучних нейронних мереж (ШНМ, англ. Artificial Neural Networks, ANN) та систем штучного інтелекту (ШІ, англ. Artificial Intelligence, AI), тощо.

На даний час більшість нових кабельних мереж електронних комунікацій будується виключно на базі оптоволоконних ліній передачі. Інфраструктура таких мереж невинно зростає відповідно попиту зростає і зацікавленість провідних комерційних фірм та структур щодо підтримки оптоволоконних з'єднань відповідним мережевим та абонентським устаткуванням [3]. В рамках технології PON це в першу чергу відноситься до лінійних терміналів OLT (англ. Optical Line Terminal) багатоканальної передачі даних та кінцевих пристроїв доступу – ONT (англ. Optical Network Terminal), номенклатура та можливості яких постійно зростають.

На даний час лідерами у виробництві активного та пасивного телекомунікаційного устаткування PON є фірми ADTRAN, Inc.; Calix, Inc., Huawei Technologies Co., Ltd.; Mitsubishi Electric Corporation; Motorola Solutions, Inc., що пропонують комплексні технічні рішення на розгортання та обслуговування мереж PON, однак на ринку також присутнє кабельне та лінійно-термінальне устаткування і від інших виробників, що не поступається за якістю. Тактико-технічні характеристики такого устаткування можуть доволі сильно відрізнятися, що автоматично спрямовує розробника мережі на певний напрям використання.

Намагання з боку виробників нав'язати комплексне технічне рішення щодо розгортання PON не завжди призводить до виправданих капітало-

вкладень з боку провайдерів в конкретних випадках, тому, побудова економічно ефективних PON вимагає застосування науково обґрунтованого підходу до вибору відповідного обладнання, зокрема, оптичних лінійних терміналів (OLT). Вибір OLT з боку провайдера для застосування в певній PON ґрунтується на його потребах із врахуванням параметрів та характеристик OLT заявлених виробником, однак, відповідальним розробникам мережі слід керуватись певною прозорою та однозначною методологією прийняття рішень для здійснення оптимального вибору не тільки на базі розгляду групи тактико-технічних характеристик але також із застосуванням експертних оцінок. В таких ситуаціях найбільш доцільним є застосування методів та методик багатокритеріального прийняття рішень MCDM (англ. Multiple Criteria Decision Making).

На даний час доцільність свого існування в різних галузях довели декілька десятків методів MCDM, що допомагають зробити процес прийняття рішень більш чітким, раціональним та однозначним. Вони можуть бути використані в різноманітних завданнях ранжирування, сортування, оптимального вибору на основі пакету критеріальних ознак для обраного ряду альтернатив, що забезпечує прозорий системний підхід багатокритеріальної оптимізації складних проблем прийняття рішень [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В попередніх дослідженнях [6–8] автори (С. Підченко, О. Кучерук, О. Пивовар та ін.) вже розглядали проблему раціонального вибору обладнання при проектуванні телекомунікаційних мереж. Цьому питанню присвячено також роботи й інших науковців, зокрема, А. Жанасбаєва, А. Тохметов, А. Амірова [9], В. Безрук [10], Л. Мельнікова та ін. [11], М. Колісник [12].

У ситуаціях прийняття рішень у реальному світі застосування класичних методів MCDM може зіткнутися з серйозними практичними обмеженнями через критерії, які, можливо, містять неточність або нечіткість інформації, оскільки зазвичай важко точно виразити оцінки за допомогою реальних чисел через брак даних або суб'єктивні та неточні експертні судження [13]. Більшість, якщо не всі, рішення в галузі техніки приймаються в умовах невизначеності. У багатьох випадках оцінки критеріїв можуть бути виражені лише якісно або за допомогою лінгвістичних термінів, що, безумовно, вимагає використання більш відповідного методу прийняття рішень. Використання теорії нечітких множин дозволяє

включити інформацію, що не піддається кількісному вимірюванню.

Нечіткі багатокритеріальні методи прийняття рішень (Fuzzy MCDM) дозволяють мати справу з проблемами MCDM, де в матриці рішень присутні невизначеність та/або неточність [14]. Основна перевага застосування методів Fuzzy MCDM полягає в тому, що вони надають структуру з більшою гнучкістю для вирішення проблем, які виникають через брак або неточність інформації [15, 16].

Методи Fuzzy MCDM активно використовуються останні два десятиліття. Зокрема, методи Fuzzy MCDM використовувались для вибору постачальника [16, 17], вибору програмного забезпечення [18], оцінки якості веб-сайтів [19]; вибору додатків IoT [20], вибору місця для встановлення важкого механізованого моста [21].

Однак, незважаючи на значну кількість методів MCDM, найбільшою проблемою щодо застосування цих методів у практичних застосуваннях є труднощі визначення найкращого методу для даної досліджуваної проблеми. Оскільки, жоден метод не є ідеальним і застосування різних методів MCDM може призвести до різних рейтингів. Таким чином, не можна визначити найбільш підходящий метод для вирішення проблеми [22, 23]. Тому, щоб переконатися, що обрана альтернатива є найкращою, вчені зазвичай використовують більше одного методу одночасно.

Постановка завдання. Метою статті є: побудова моделі оптимального вибору телекомунікаційного обладнання в умовах нечіткої інформації на основі поєднання методів Fuzzy MCDM, на прикладі вибору оптичного лінійного терміналу.

Виклад основного матеріалу. В попередньому дослідженні [8] для вибору оптичного лінійного терміналу авторами було застосовано метод Fuzzy TOPSIS та для визначення важливості критеріїв метод Fuzzy SWARA. В роботі представлено детальний опис зазначених методів та поняття й властивості трикутних нечітких чисел. В даному дослідженні пропонується використати для вибору оптичного лінійного терміналу три методи Fuzzy MCDM, а саме Fuzzy TOPSIS, Fuzzy MARCOS та Fuzzy ARAS.

Алгоритм методу Fuzzy MARCOS [21, 24].

Крок 1: Першим кроком у всіх методах FMCDM є побудова початкової нечіткої матриці прийняття рішень. Моделі MCDM включають визначення набору з n критеріїв і m альтернатив.

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_n \\ \begin{matrix} \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \\ \vdots \\ \tilde{A}_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix},$$

де m – кількість альтернатив; n – кількість критеріїв; $\tilde{A}_i$ – i -та альтернатива; $\tilde{C}_j$ – j -й критерій; $\tilde{x}_{ij}$ – оцінка i -ї альтернатива по j -му критерію, лінгвістичні змінні, які описуються трикутними нечіткими числами $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$.

Крок 2: Побудова розширеної нечіткої матриці прийняття рішень. До матриці додаються нечітка ідеальна альтернатива ($\tilde{A}(ID)$) та нечітка анти-ідеальна альтернатива ($\tilde{A}(AI)$):

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_n \\ \begin{matrix} \tilde{A}(AI) \\ \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \\ \dots \\ \tilde{A}_m \\ \tilde{A}(ID) \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{ai1} & \tilde{x}_{ai2} & \dots & \tilde{x}_{ain} \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \\ \tilde{x}_{id1} & \tilde{x}_{id2} & \dots & \tilde{x}_{idn} \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Залежно від типу критеріїв, $\tilde{A}(AI)$ і $\tilde{A}(ID)$ визначаються згідно умов:

$$\tilde{A}(AI) = \begin{cases} \min_i \tilde{x}_{ij}, j \in B \\ \max_i \tilde{x}_{ij}, j \in C \end{cases} \text{ та } \tilde{A}(ID) = \begin{cases} \max_i \tilde{x}_{ij}, j \in B \\ \min_i \tilde{x}_{ij}, j \in C \end{cases},$$

де B – група benefit-критеріїв, а C – група cost-критеріїв.

Крок 3: Побудова нормалізованої нечіткої матриці $\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n}$, де:

$$\tilde{n}_{ij} = (a_{\tilde{n}_{ij}}, b_{\tilde{n}_{ij}}, c_{\tilde{n}_{ij}}) = \begin{cases} \left(\frac{a_{\tilde{x}_{ij}}}{c_{\tilde{x}_{idj}}}, \frac{b_{\tilde{x}_{ij}}}{c_{\tilde{x}_{idj}}}, \frac{c_{\tilde{x}_{ij}}}{c_{\tilde{x}_{idj}}} \right), j \in B \\ \left(\frac{a_{\tilde{x}_{idj}}}{c_{\tilde{x}_{ij}}}, \frac{a_{\tilde{x}_{idj}}}{b_{\tilde{x}_{ij}}}, \frac{a_{\tilde{x}_{idj}}}{c_{\tilde{x}_{ij}}} \right), j \in C \end{cases}.$$

Крок 4: Обчислення зваженої нечіткої матриці $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ де

$$\tilde{v}_{ij} = (a_{\tilde{v}_{ij}} \cdot w_{j1}, b_{\tilde{v}_{ij}} \cdot w_{j2}, c_{\tilde{v}_{ij}} \cdot w_{j3}),$$

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

Крок 5: Розрахунок рівня корисності альтернатив:

$$\tilde{K}_i^- = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{ai}} = \left(\frac{a_{s_i}}{c_{s_{ai}}}, \frac{b_{s_i}}{b_{s_{ai}}}, \frac{c_{s_i}}{a_{s_{ai}}} \right),$$

$$\tilde{K}_i^+ = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{id}} = \left(\frac{a_{s_i}}{c_{s_{id}}}, \frac{b_{s_i}}{b_{s_{id}}}, \frac{c_{s_i}}{a_{s_{id}}} \right),$$

де $\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij}$.

Крок 6: Розрахунок нечіткого вектору $\tilde{T} = [\tilde{t}_i]_m$, де $\tilde{t}_i = \tilde{K}_i^- (+) \tilde{K}_i^+ ((+))$ – сума нечітких чисел [8]. Після чого визначається нечітке число $\tilde{D} = \max_i \tilde{t}_i$ та проводиться дефазифікація числа $\tilde{D}$ за допомогою виразу

$$df_{crisp} = \frac{a_{\tilde{D}} + 4 \cdot b_{\tilde{D}} + c_{\tilde{D}}}{6}.$$

Крок 7. Визначення функцій корисності $f(\tilde{K}_i^+)$ і $f(\tilde{K}_i^-)$:

$$f(\tilde{K}_i^+) = \frac{\tilde{K}_i^-}{df_{crisp}} = \left(\frac{a_{k_i^-}}{df_{crisp}}, \frac{b_{k_i^-}}{df_{crisp}}, \frac{c_{k_i^-}}{df_{crisp}} \right);$$

$$f(\tilde{K}_i^-) = \frac{\tilde{K}_i^+}{df_{crisp}} = \left(\frac{a_{k_i^+}}{df_{crisp}}, \frac{b_{k_i^+}}{df_{crisp}}, \frac{c_{k_i^+}}{df_{crisp}} \right).$$

Крок 8. Проводиться дефазифікація $\tilde{K}_i^-$, $\tilde{K}_i^+$, $f(\tilde{K}_i^+)$ і $f(\tilde{K}_i^-)$ аналогічно дефазифікації числа $\tilde{D}$.

Крок 9: Визначення функції корисності альтернатив $f(K_i)$:

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

Крок 10: Ранжування альтернатив на основі значень функцій корисності. Чим більше значення $f(K_i)$ тим краще, тобто найкраща альтернатива має більше значення функції корисності.

Алгоритм методу Fuzzy ARAS [16].

Крок 1: Формування нечіткої матриці рішень.

Крок 2: Формування розширеної нечіткої матриці рішень шляхом додавання рядка з оптимальними значеннями кожного критерію у вигляді:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{01} & \tilde{x}_{02} & \cdots & \tilde{x}_{0n} \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}.$$

Оптимальні значення критеріїв розраховується наступним чином:

$$\tilde{x}_{0j} = \begin{cases} \max_i \tilde{x}_{ij}, j \in B \\ \min_i \tilde{x}_{ij}, j \in C \end{cases},$$

де B – група benefit-критеріїв, а C – група cost-критеріїв.

Крок 3: Нормалізація розширеної нечіткої матриці рішень $\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]$:

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m \tilde{x}_{ij}} \text{ для benefit-критеріїв; } \tilde{n}_{ij} = \frac{1/\tilde{x}_{ij}}{\sum_{i=0}^m 1/\tilde{x}_{ij}}$$

для cost-критеріїв.

Крок 4: Побудова зваженої нормалізованої матриці рішень $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij} (*) \tilde{w}_j, ,$$

де $(*)$ – добуток нечітких чисел [8], $\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ – вектор вагових коефіцієнтів критеріїв, $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$.

Крок 5: Розрахунок значень функції оптимальності i -ї альтернативи:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij}$$

та застосовується дефазифікація по центру області, тобто: $S_i = \frac{1}{3}(a_{\tilde{S}_i} + b_{\tilde{S}_i} + c_{\tilde{S}_i})$.

Крок 6: Розрахунок ступеня корисності альтернативи K_i :

$$K_i = \frac{S_i}{S_0},$$

де S_i та S_0 – значення функції оптимальності. Як найкращу альтернативу слід обрати альтернативу з максимальною ступеня корисності K_i .

В роботі [8] для вибору оптичного лінійного терміналу авторами було застосовано комбінацію методів Fuzzy SWARA+ Fuzzy TOPSIS. За допомогою методу Fuzzy SWARA було визначено вагові коефіцієнти критеріїв, а за методом Fuzzy TOPSIS визначено найкращу альтернативу. В якості альтернатив було розглянуто такі оптичні лінійні термінали: A_1 – BDCOM P3600-04; A_2 – BDCOM GP3600-08B; A_3 – BDCOM GP3600-16B; A_4 – BDCOM P3600-16E; A_5 – BDCOM P3600-08E.

Як критерії вибору було обрано наступні характеристики оптичних лінійних терміналів: C_1 – кількість PON портів; C_2 – пропускна здатність

Таблиця 1

Нечітка матриця рішень [8]

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	$\tilde{w}_j$
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_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_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_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_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_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)
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_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)

Таблиця 2

Результати дослідження

Метод		Альтернатива				
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Fuzzy SWARA+ Fuzzy TOPSIS	оцінка	0,008	0,782	0,945	0,421	0,502
	ранг	5	2	1	4	3
Fuzzy SWARA + Fuzzy MARCOS	оцінка	0,568	1,021	1,157	0,812	0,811
	ранг	5	2	1	3	4
Fuzzy SWARA + Fuzzy ARAS	оцінка	0,809	0,960	0,991	0,904	0,912
	ранг	5	2	1	4	3

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.

Нечітка матриця рішень та вагові коефіцієнти критеріїв одержані в попередньому дослідженні представлено в таблиці 1.

Застосування комбінації методів Fuzzy SWARA+ Fuzzy TOPSIS дало наступні результати [8]: $A_3 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_1$.

В ході даного дослідження було здійснено ранжування альтернатив та вибір кращої альтернативи за допомогою комбінації методів Fuzzy SWARA + Fuzzy MARCOS та Fuzzy SWARA + Fuzzy ARAS, згідно алгоритмів описаних вище. Результати застосування трьох методів наведено в табл. 2.

Ранжування альтернатив за значеннями функції корисності $f(K_i)$, згідно Fuzzy SWARA + Fuzzy MARCOS, дає наступні результати: $A_3 \succ A_2 \succ A_4 \succ A_5 \succ A_1$.

За результатами застосування Fuzzy SWARA + Fuzzy ARAS ранжування альтернатив виглядає наступним чином: $A_3 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_1$.

В ранжуваннях за трьома методами є певні відмінності щодо альтернатив A_4 та A_5 , проте найкращою альтернативою згідно всіх застосованих методів є A_3 .

Висновки. Реалізація нечіткої логіки в поєднанні з методами MCDM стає все більш популярною і є потужним інструментом для вирішення складних проблем прийняття рішень.

В статті продемонстровано застосування трьох нечітких підходів MCDM (Fuzzy SWARA + Fuzzy TOPSIS, Fuzzy SWARA + Fuzzy MARCOS і Fuzzy SWARA + Fuzzy ARAS) для вибору оптичного лінійного терміналу.

Визначено, що найкращою альтернативою є альтернатива A_3 (оптичний лінійний термінал BDCOM GP3600-16B). Проте, порядок альтернатив в ранжуваннях за різними методами дещо відрізняється. Тому варто застосовувати не один метод при ранжуванні та виборі кращої альтернативи.

В даному дослідженні для інтерпретації лінгвістичних змінних використовувались трикутні нечіткі числа. У подальших дослідженнях планується використати трапецієподібні нечіткі числа і порівняти результати моделювання з результатами, отриманими в цьому дослідженні.

Список літератури:

1. Matthew Nance Hall, Klaus-Tycho Foerster, Stefan Schmid, Ramakrishnan Durairajan A Survey of Reconfigurable Optical Networks. *Optical Switching and Networking*. <https://surl.gd/tojwei>
2. Mustafa H. Ali, Hazim M. ALkargole, Tariq A. Hassan A Review of immigration obstacles to PON-FTTH and its evolution around the world *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*. Vol. 19, No. 2, April 2021, pp. 645–663. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v19i2.16444
3. Ankur Tiwari, Raj Kumar, Abhishek Saxena Future trends in fiber optics communication / *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. 2020. Vol. 4, Issue 10, Pages 203–207.
4. Turskis, Z.; Keršuliene, V. SHARDA–ARAS: A Methodology for Prioritising Project Managers in Sustainable Development. *Mathematics*. 2024. 12, 219. <https://doi.org/10.3390/math12020219>
5. Thinh, H.X., Mai, N.T. Comparison of two methods in multi-criteria decision-making: application in transmission rod material selection. 2023. *EUREKA: Physics and Engineering*. № 6, P. 59–68. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.00304>
6. Pidchenko S., Kucheruk O., Pyvovar O., Stetsiuk V., Mishan V. A multi-criteria approach to decision-making in telecommunication network components selection. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2023, no. 1(105), pp. 155–165. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.13>
7. Pidchenko S., Kucheruk O., Drach I., Pyvovar O. Multi-criteria model for selection of optical linear terminals based on FUZZY TOPSIS method. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2024, no. 1(109), pp. 65–75. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2024.1.06>
8. Підченко, С., Кучерук, О., Пивовар, О., Іванов, О., & Горященко, К. (2024). Метод вибору термінального обладнання пасивних оптичних мереж на основі нечіткого багатокритеріального прийняття рішень. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 339(4), 448–457. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-67>
9. Zhanasbayeva A. Methods for substantiating decisions on the choice of the composition of telecommunications equipment. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2021. Vol.99, no 22. P. 5582–5591.
10. Bezruk V. Multicriteria selection of the optimal design options of telecommunication facilities. *IAPGOS*. 2018. no. 4, P. 16–19. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.8014>
11. Мельнікова Л. І., Лінник О. В., Кривошопка Н. В., Барсук В. А. Застосування евристичної процедури багатокритеріальної оптимізації до вибору варіанта мовного кодексу в IP-мережі. *Проблеми телекомунікацій*. 2020. – № 1(26). – С. 23–32.
12. Kolisnyk M. Vulnerability analysis and method of selection of communication protocols for information transfer in internet of things systems *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. – № 1(97). – P. 133–149. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.12>
13. Agnieszka Tubis, Sylwia Werbińska-Wojciechowska Fuzzy TOPSIS in selecting logistic handling operator: case study from Poland. *Transport*, 2023, 38(1): p. 12–30.
14. Blanca Ceballos, Mar'ia Teresa Lamata, David A. Pelta Fuzzy Multicriteria Decision-Making Methods: A Comparative Analysis. *International journal of intelligent systems*, Vol. 00, 1–17 (2016). DOI 10.1002/int.21873
15. Alaa Alden Al Mohamed, Sobhi Al Mohamed and Moustafa Zino Application of fuzzy multicriteria decision-making model in selecting pandemic hospital site. *Future Business Journal* (2023) 9:14 <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00185-5>
16. Petrović G., Mihajlović J., Čojbašić Ž., Madić M., Marinković D. Comparison of three fuzzy mcdm methods for solving the supplier selection problem. *Facta universitatis. Series: Mechanical Engineering*. 2019. – Vol. 17, № 3. – P. 455 – 469.
17. Sun H. Zhang B., Ni W. A Hybrid Model Based on SEM and Fuzzy TOPSIS for Supplier Selection. *Mathematics*. 2022. – № 10. – 3505. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10193505>
18. Salimov V. Application of TOPSIS Method with Trapezoidal Fuzzy Numbers. *Science Review*. – 2021. – № 1(36). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7377
19. Jefmański B. Rozmyta metoda TOPSIS jako narzędzie identyfikacji determinant jakości usług i produktów. *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. *Processes*. 2023. – № 11. – 1313. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11051313>
21. Duško Z. Tešić, Darko I. Božanić, Dragan S. Pamučar, Jamalud Din DIBR – Fuzzy MARCOS model for selecting a location for a heavy mechanized bridge. *Vojnotehnički glasnik / Military technical courier*. 2022, Vol. 70, Issue 2, p. 314–339.
22. Susmita Bandyopadhyay A Novel Multi-Criteria Decision Analysis Technique Considering Various Essential Characteristics / DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-608280/v1>

23. Basílio, M. P., Pereira, V., Costa, H. G., Santos, M., Ghosh, A. A Systematic Review of the Applications of Multi-Criteria Decision Aid Methods (1977–2022). *Electronics*, 2022, no. 11, iss. 11, article no. 1720. DOI: 10.3390/electronics11111720.

24. Miomir Stanković, Željko Stević, Dillip Kumar Das, Marko Subotić and Dragan Pamučar A New Fuzzy MARCOS Method for Road Traffic Risk Analysis / *Mathematics*. 2020, 8(3), 457; <https://doi.org/10.3390/math8030457>

**Pyvovar O. S., Kucheruk O. Ya., Kysil T. M. A FUZZY MULTIPLE-CRITERIA
DECISION-MAKING APPROACH TO SELECTING TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT**

The article is devoted to the issue of rational choice of telecommunications equipment. The paper notes that the best approach to solving such issues is the methods of multi-criteria decision-making. Currently, the vast majority of global terrestrial transport networks are based on optical data transmission technologies. Since the early 2000s, optical technologies have been gradually replacing traditional copper technologies in subscriber access networks. This was primarily facilitated by the emergence of passive optical networking (PON) technology. Building cost-effective PONs requires a scientifically sound approach to the selection of appropriate equipment, in particular, optical line terminals. In such situations, the most appropriate approach is to use multi-criteria decision-making (MCDM) methods and techniques. Given that most decisions in engineering are made under conditions of uncertainty, it is advisable to use Fuzzy MCDM methods. The implementation of fuzzy logic in combination with MCDM methods is becoming increasingly popular and is a powerful tool for solving complex decision-making problems. Fuzzy MCDM methods provide a framework with greater flexibility to address problems that arise due to insufficient or inaccurate information. One of the main challenge in applying MCDM methods in practical applications is the difficulty of determining the best method for the problem under study, as applying different MCDM methods can lead to different rankings. Therefore, it is worth using more than one method at a time. The article considers the use of Fuzzy MCDM methods for selecting an optical line terminal. The purpose of the study is to build a model for the optimal selection of telecommunications equipment under conditions of fuzzy information based on a combination of Fuzzy MCDM methods, using the selection of an optical line terminal as a case study. This article presents three fuzzy MCDM approaches (Fuzzy SWARA + Fuzzy TOPSIS, Fuzzy SWARA + Fuzzy MARCOS and Fuzzy SWARA + Fuzzy ARAS) for selecting an optical line terminal. The best alternative in each approach is identified and the results are compared.

Key words: optical networks, optical line terminal, Fuzzy MCDM, Fuzzy MARCOS, Fuzzy ARAS methods.