

УДК 681.306

**Безклубенко Ірина Сергіївна**Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, *orcid.org/0000-0002-9149-4178*

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**МЕТОДИ РАНЖУВАННЯ КРИТЕРІЇВ В ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕРЕЖІ**

*Анотація.* Актуальність вибору вектора переваги критеріїв при виборі варіанта проекту інженерної мережі визначається необхідністю (вже на стадії проектування мережі) враховувати можливість забезпечення всіх споживачів цільовим продуктом в необхідній кількості і відповідній якості при мінімальних значеннях деяких критеріїв, записаних у вартісному, енергетичному або надійнісному виразі. Проведено порівняльний аналіз існуючих методів вибору вагових коефіцієнтів. Особливу увагу приділено методам ранжування та приписування балів, які є найбільш ефективними у випадку невеликої кількості критеріїв. Запропоновано метод ранжування і метод приписування балів у випадку, коли число критеріїв дорівнює двом, на прикладі задачі вибору проекту інженерної мережі, що розвивається, яка є двокритеріальною. Один критерій відображає потребу мінімізації фінансових витрат на будівництві і експлуатацію мережі з метою забезпечення поставлених у час проектування потреб в цільовому продукті. Другий – відображає потребу на перспективний розвиток системи в майбутньому від досягнутого рівня. Введений вектор переваги критеріїв дає можливість двокритеріальну задачу вибору проекту інженерної мережі, що розвивається, замінити однокритеріальною.

**Ключові слова** інженерна мережа; двокритеріальна оптимізація; вектор переваги критеріїв; ранжування

**Актуальність теми**

Запланований розвиток великих міст призводить не тільки до ускладнення мереж комунального господарства, але й потребує ще на стадії проектування колосальної людської праці і великих капіталовкладень. Перед спеціалістами, що проектують та експлуатують такі мережеві системи, стоять задачі проектування мереж з урахуванням запасу пропускної спроможності і можливості оперативного змінення структури і параметрів магістральних та розподільних мереж в умовах зростаючої потреби в цільовому продукті. У зв'язку з цим виникає необхідність у стислий термін ефективно розв'язувати задачі щодо знаходження ресурсів для інтенсифікації роботи інженерних мереж, вже на стадії проектування визначити оптимальні характеристики і параметри ліній зв'язку, джерел цільового продукту, регуляторів, визначити можливість ліквідації аварійних ситуацій, визначити функціональні алгоритми роботи мереж в умовах автоматичного управління.

**Мета статті**

Мета статті – проаналізувавши методи ранжування критеріїв в задачах оптимізації потокорозподілу інженерних мереж, що

розвиваються, вибрати вектор переваги критеріїв оптимізації на підставі інформації отриманої від групи проектувальників.

Робота є розвиненням матеріалу, викладеного в статті [7], де була побудована двокритеріальна математична модель мережі, що розвивається. Запропоновано лінійне перетворення, яке дозволяє враховувати нерівноцінність критеріїв і їх нормалізувати.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Для вибору єдиного розв'язку в задачі проектування інженерної мережі, що розвивається, необхідно задати вагові коефіцієнти  $\xi$ ,  $\eta$ , які відображають відносну значущість функції цілі. В роботі [6] розглянуто шість методів (ранжування приписування балів, частково парне порівняння I і II, повне парне порівняння, послідовне парне порівняння), які розроблені для довільного числа критеріїв і порівнюються на надійність та ефективність щодо затрат часу на збирання і обробку інформації експертів в одних і тих же ситуаціях прийняття рішень. Найбільш ефективними у проведених дослідженнях, а також у випадку невеликої кількості критеріїв (в наведеному випадку

– два критерії) виявилися методи ранжування і дописування балів.

Розглянемо методи ранжування і дописування балів для числа критеріїв, що дорівнює двом.

Нехай в процедурі прийняття проекту інженерної мережі беруть участь  $\ell$  – спеціалістів. Метод ранжування в даному випадку зводиться до того, що кожний спеціаліст розставляє функції цілі  $y$ ,  $z$  за порядком їх властивості. При цьому цифрою 2 позначають найбільш важливу, а цифрою 1 найменш важливу функцію цілі. Знаючи перетворений ранг із  $j$ -го критерію у  $r$ -го експерта,  $j=1,2, \dots, \ell$ , вагові коефіцієнти знаходимо з таких співвідношень:

$$\xi = \frac{\sum_{r=1}^{\ell} i_1^r}{\sum_{j=1}^{\ell} \sum_{r=1}^{\ell} i_j^r}; \quad \eta = \frac{\sum_{r=1}^{\ell} i_2^r}{\sum_{j=1}^{\ell} \sum_{r=1}^{\ell} i_j^r}. \quad (1)$$

Метод дописування балів в даному випадку інтерпретують таким чином. Спеціалісти оцінюють важливість кожної функції цілі за шкалою 0-10. При цьому їм дозволено оцінювати важливість дробовими величинами, або обом функціям цілі приписувати одну й ту ж саму величину із вибраної шкали. Знаючи бал  $h_j^r$   $j$ -ї функції цілі у  $r$ -го спеціаліста,  $j=1,2, \dots, \ell$ , вагові коефіцієнти можна знайти із співвідношень (1), замінивши у них  $i_j^r$  на  $X_j^r$ , де

$$X_j^r = \frac{h_j^r}{h_1^r + h_2^r},$$

$x_j^r$  називають вагою, визначеною для  $j$ -ї функції цілі на підставі оцінок  $r$ -го спеціаліста.

З наведених прикладів видно, що широко застосовані у випадку розв'язання багатокритеріальних задач загального виду методи визначення вагових коефіцієнтів не дозволяють враховувати специфічні риси сформульованої двокритеріальної задачі [7], які відображають її зміст в предметній області. Тому розглянемо трохи інший підхід до визначення вагових коефіцієнтів  $\xi$  і  $\eta$ , який базується на задаванні кожним спеціалістом бажаного значення однієї із функцій цілі  $y$ ,  $z$ . При цьому спеціалісту відомо, які значення можуть приймати функції цілі на допустимій множині розв'язків, тобто відомі діапазони змін:  $y \in [y^{\min}, y^{\max}]$ ,  $z \in [z^{\min}, z^{\max}]$ .

Нехай  $r$  – спеціаліст задасть бажані значення цільових функцій –  $y^{*(r)}$ ,  $z^{*(r)}$ . Для визначення  $\rho_i^{(n)}$   $r=1, \ell$ , зробимо таким чином. Будемо вважати, що при розв'язанні багатокритеріальної задачі використовується перетворення [4]:

$$w(y) = \frac{y - y^{\min}}{y^{\max} - y^{\min}};$$

$$w(z) = \frac{z - z^{\min}}{z^{\max} - z^{\min}},$$

де  $y^{\min}$ ,  $y^{\max}$  та  $z^{\min}$ ,  $z^{\max}$  – відповідно мінімум і максимум відповідних критеріїв. Тоді для кожної функції цілі можна обчислити компоненти точки:

$$w^{*(r)} = \{w(y^{*(r)}), w(z^{*(r)})\}, r=1, \ell;$$

$$w(y^{*(r)}) = \frac{y^{*(r)} - y^{\min}}{y^{\max} - y^{\min}};$$

$$w(z^{*(r)}) = \frac{z^{*(r)} - z^{\min}}{z^{\max} - z^{\min}}.$$

Якщо значення  $w(y^{*(r)}) = w(z^{*(r)})$ , то очевидно, що вибрана  $r$ -м спеціалістом точка  $w^{*(r)}$  лежить на векторі  $\rho^{(r)} = (\frac{1}{2}; \frac{1}{2})$ . Таким чином, оскільки вектор  $\rho^{(r)} = (\xi^{(r)}; \eta^{(r)})$  оцінює перевагу функції цілі  $y$ ,  $z$  один перед одним в кількісній шкалі, то можна вважати, що  $r$ -спеціаліст вважає функції цілі рівноцінними. Враховуючи, що  $w(y^{*(r)}) \neq 0$ ,  $w(z^{*(r)}) \neq 0$  (в протилежному випадку багатокритеріальна задача перетворюється в однокритеріальну) можна визначити вектори  $\xi$  і  $\eta$  таким чином [5]:

$$\xi = \frac{x}{w(y^{*(r)})}; \quad \eta = \frac{x}{w(z^{*(r)})}.$$

Оскільки нерівноцінність критеріїв задається в кількісній шкалі за допомогою вагових коефіцієнтів  $\xi \in (0,1)$ ,  $\eta \in (0,1)$ ,  $\eta + \xi = 1$ , які визначають перевагу як на множині критеріїв [7]  $w = \{w(y), w(z)\}$ , то очевидно, що в загальному випадку вектор переваги критеріїв  $\rho^{(r)} = (\xi^{(r)}; \eta^{(r)})$  для бажаних значень критеріїв  $y^*(r) \in [y^{\min}, y^{\max}]$ ,  $z^{*(r)} \in [z^{\min}, z^{\max}]$  визначається однозначно зі співвідношень:

$$\xi^{(r)} = \frac{w(y^{*(r)})}{w(y^{*(r)}) + w(z^{*(r)})};$$

$$\eta^{(r)} = \frac{w(y^{*(r)})}{w(y^{*(r)}) + w(z^{*(r)})}$$

Визначивши вектори переваги критеріїв  $\rho^{(r)} = (\xi^{(r)}; \eta^{(r)})$  для всіх  $r = \overline{1, \ell}$ , вектор переваги критеріїв для критеріальних функцій  $z, y$  можна знайти із співвідношення (1), поклавши в них  $i_1^r = \xi^{(r)}, i_2^r = \eta^{(r)}, r = \overline{1, \ell}$

Слід зауважити, що операцію осереднення при виборі валових коефіцієнтів  $\xi, \eta$  можна провести відразу після задавання кожним спеціалістом бажаних значень критеріїв, тобто знайти:

$$y^* = \frac{\sum_{r=1}^{\ell} y^{*(r)}}{\ell}; \quad z^* = \frac{\sum_{r=1}^{\ell} z^{*(r)}}{\ell}$$

## Висновки

Розглянуто і проаналізовано методи ранжування критеріїв у задачах оптимізації поточкорозподілу інженерних мереж, що розвиваються, які дозволяють вибрати вектор переваги критеріїв оптимізації на підставі інформації, отриманої від групи проєктувальників. Вибраний таким чином вектор переваги критеріїв  $z$ , у дозволяє двокритеріальну задачу вибору проєкту інженерної мережі, що розвивається, замінити однокритеріальною, не змінюючи множини розв'язків задачі. Отримані результати можуть бути застосовані для розв'язання двокритеріальної задачі проєктування інженерних мереж на етапі проєктування.

## Список літератури

1. Михайлович В.С., Волкович В.Л., Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
2. Михайленко В.М. застосування функціонально – динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста / В.М. Михайленко, А.П. Анпілогов Ю.В. Кошарна // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2007. – №27. – С. 8–13.
3. Евдокимов А.Т. Моделирование и оптимизация потока распределения в инженерных сетях / А.Т. Евдокимов, А.Д. Термиев, В.В. Дубровский. – М.: Стройиздат 1990. 368 с.
4. Безклубенко І.С. До питання вибору оптимального виробництва інженерної мережі / 4-та міжнар. науково – практ. конф. Математика в сучасному університеті. – Київ, НТУ КПІ, 2015. – 19 с.
5. Безклубенко І.С. Завдання вектора напрямку розвитку інженерної мережі / О. І. Баліна, тези доповіді V міжнар. науково – практ. конф. Математика в сучасному університеті. – Київ, НТУ КПІ, грудень 2016.
6. Эженроде Р.Т. Взвешенные многомерные критерии / Статическое измерение качественных характеристик / под ред. К.М. Четиркина. – М., 1972. – С. 49-51.
7. Безклубенко І.С. Завдання вектора переваги критеріїв при виборі варіанта проєкту інженерної мережі [Текст] / І.С. Безклубенко // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 30. – С. 132 – 135.
8. Храменков С. В. Стратегія модернізації водопровідної мережі / С. В. Храменков. – М.: Стройсудат. 2005.
9. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов, 2-с издание переработанное и дополненное. – М.: Изд-во МПТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.
10. Предун К. М. Аналіз стану інженерних мереж та можливостей їх використання для потреб теплопостачання населених пунктів України / К. М. Предун // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2012. – №16. – С. 67-71.

Стаття надійшла до редколегії 10.04.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Михайленко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

### Безклубенко Ирина Сергеевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, [orcid.org/0000-0002-9149-4178](https://orcid.org/0000-0002-9149-4178)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

## МЕТОДЫ РАНЖИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕТИ

**Аннотация.** Актуальность выбора вектора предпочтения критериев при выборе варианта проекта инженерной сети определяется необходимостью (уже на стадии проектирования сети) учитывать возможности обеспечения всех потребителей целевым продуктом в необходимом количестве и соответствующего качества при минимальных значениях некоторых критериев, представленных в стоимостном, энергетическом или надежности выражении. Проведен сравнительный анализ существующих методов выбора весовых коэффициентов. Особое внимание уделено методам ранжирования и приписывания баллов, которые являются наиболее эффективными в случае небольшого

количества критериев. Предложены методы ранжирования и приписывания баллов в случае, когда число критериев равно двум. При этом один критерий отображает потребность минимизации финансовых затрат на строительство и эксплуатацию сети с целью обеспечения поставленных в момент проектирования потребностей в целевом продукте, а второй отражает потребность перспективного развития системы в будущем. Введен вектор предпочтения критериев, который дает возможность двухкритериальную задачу выбора проекта развивающейся инженерной сети заменить однокритериальной.

**Ключевые слова:** инженерная сеть; двухкритериальная оптимизация; вектор предпочтения критериев; ранжирование

**Bezklubenko Irina**

Ph.D., assistant professor of information technology design and applied mathematics, [orcid.org/0000-0002-9149-4178](https://orcid.org/0000-0002-9149-4178)  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

## THE METHODS FOR RANKING CRITERIA IN STREAM OPTIMIZATION TASKS ENGINEERING NETWORK

**Abstract.** The relevance of the choice of the vector of the advantages of the criteria when choosing a variant of the engineering network project is determined by the need, at the design stage of the network, to take into account the possibility of providing all consumers with the desired product in the required quantity and quality, with the minimum values of certain criteria written down in value, energy or in the form of a predicate. A comparative analysis of the existing methods of selecting the gross coefficients is carried out. Particular attention is paid to the methods of ranking and the attribution of scores, which are most effective in the case of a small number of criteria. The method of ranking and the method of assigning points are proposed in the case when the number of criteria is two. On an example of a problem of a choice of the project of an engineering network, developing company which is two-criteria. One criterion reflects the need to minimize financial costs in the construction and operation of the network in order to meet the design requirements in the target product. The second reflects the need for future development of the system in the future from the achieved level. The introduced vector of the advantage of the criteria makes it possible for the two-criteria task to choose the engineering network project, develops to replace the one-criterion one.

**Keywords:** engineering network; two-criteria optimization; vector advantages criteria; ranging

### References

1. Mikhaylevich, V.S., Volkovich, V.L. (1982). *Computational methods of research and design of complex systems*. Moscow: Science, 286.
2. Mikhailenko, V.M. (2007). *Application of Functional-Dynamic Circuits for Modeling the Urban Water Supply Network Engineering* / V.M. Mikhailenko, A. P. Ampilogolov, Yu. V. Kosharna // *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 27, 8-13.
3. Evdokimov, A.T. & Termiev, A.D. & Dubrovsky, V.V. (1990). *Modeling and optimization of flow distribution in engineering systems*. Moscow: Stroyzdat, 368.
4. Bezklubenko, I.S. (2015). *On the question of choosing the optimal production engineering network*. Proc. 4th international n / t conference math in modern university. Kyiv: NTU KPI, 19
5. Bezklubenko, I.S. (2016). *Problems of the vector of the direction of development of the engineering network*. Abstracts of the report International. scientific – practical konf. "Mathematics at a modern university". Kyiv: NTU KPI, December 2016.
6. Enzo, R.T. (1972). *Weighted Multidimensional Criteria / Static Measurement of Qualitative Characteristics*. Edited by K. M. Chetyrkin. Moscow: 49-51
7. Bezklubenko, Irina. (2017). *Application technology of artificial neural networks for modeling land relief of construction site*. *Management of Development of Complex Systems*, 30, 132–135.
8. Khramenkov, S.V. (2005). *The strategy of modernization of the plumbing network*. Moscow: Stroussudat.
9. Norenkov, I.P. (2002). *The fundamentals of computer-aided design: a textbook for high schools*, 2nd edition of the revised and supplemented. Moscow: Izd MPTU them. Bauman, 336.
10. Preum, K.M. (2012). *Analysis of the state of engineering networks and their possibilities for heat supply needs of settlements of Ukraine*. *Ventilation, lighting and heat-and-gas supply*, 6, 67-71.

### Посилання на публікацію

- APA Bezklubenko, Irina. (2018). *The methods for ranking criteria in stream optimization tasks engineering network*. *Management of Development of Complex Systems*, 34, 111 – 114.
- ДСТУ Bezklubenko I.S. *Методи ранжування критеріїв в задачі оптимізації потокорозподілу інженерної мережі [Текст] / I.S. Безклубенко // Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 34. – С. 111 – 114.*