

УДК 519.6

**Полтораченко Наталія Іванівна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, *orcid.org/0000-0002-2238-6130*

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ЗАДАЧА НЕЧІТКОЇ ПРИВ'ЯЗКИ СПОЖИВАЧІВ ДО МЕРЕЖ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ**

*Анотація.* Розглянуто задачу прив'язки зосереджених споживачів до мереж різних категорій при проектуванні інженерної мережі. Математична модель задачі містить кілька критеріїв якості та мережі більше ніж двох категорій. Об'єктивна невизначеність інформації на початкових етапах проектування виражена через два нечітких бінарних відношення. Перше відображає зв'язок між зосередженими споживачами та критеріями якості, де функція належності нечіткого бінарного відношення на практиці означає рівень значущості критерія для зосередженого споживача. Друге відображає зв'язок між критеріями якості та мережами різних категорій, де функція належності нечіткого бінарного відношення на практиці означає рівень сумісності мережі тієї чи іншої категорії з критерієм якості. Віднормований добуток цих бінарних відношень відображає рівень переваг мереж тієї чи іншої категорії для зосереджених споживачів. Потреба нормування пов'язана з необхідністю порівняння цих переваг. У роботі запропоновано ввести поріг роздільності. Він дозволяє розрахувати різні варіанти прив'язки зосереджених споживачів залежно від його значення. Частина споживачів є сенс прив'язати до кількох мереж з метою забезпечення надійності їх функціонування.

**Ключові слова:** інженерна мережа; математична модель; багатокритеріальна задача; нечіткі множини

**Постановка проблеми**

Комунальне господарство (системи водо-, тепло-, газопостачання) міст та населених пунктів стоїть перед багатьма викликами, які у сучасних умовах пов'язані зі: 1) збільшенням об'ємів використання цільового продукту (вода, газ, теплоносій) у вже існуючих системах (побудова нових будівель і споруд посеред заселених мікрорайонів); 2) вимогами скорочення споживання цільового продукту (зростання ціни, можливість дефіциту); 3) подальшою газифікацією, теплофікацією тощо нових територій [1; 2].

Побудова нових інженерних мереж (ІМ) або їх реконструкція, транспортування і розподіл цільового продукту (ЦП) цими мережами вимагає великих фінансових та матеріальних витрат. Ще одна, не менш важлива, задача полягає у забезпеченні повного та надійного постачання ЦП всіх споживачів або – в умовах дефіциту – надійного забезпечення пріоритетних споживачів шляхом оперативного перерозподілу потоків ЦП. Складні динамічні процеси, що відбуваються в ІМ, потребують керування потоками ЦП в мережах з метою їх перерозподілу. Для цього система повинна мати властивість маневреності, яка закладається під час проектування на основі прогнозування

експлуатаційних процесів. А такі прогнози є оціночними, тобто інформація має характер невизначеності. При цьому просте екстраполювання сучасного стану системи на майбутнє є неефективним (не містить лінійного характеру). Тому краще звернутися до думки одного або кількох експертів, які мають необхідні знання, що дозволяє отримати достатньо надійну інформацію. А такі дані зручно представити у вигляді нечітких множин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Проектування нових або реконструкція старих ІМ – це багатокритеріальна та багатомірна задача, що потребує формалізації невизначеності інформації, особливо на початкових етапах проектування. Необхідність одночасного урахування як детерміністських даних, так і тих, що можуть змінюватися з плином часу – це чи не одна з головних проблем при сучасному моделюванні мереж комунального господарства [3]. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі розглянуто у статті [4]. Метод числового моделювання тривимірного тепло- та масообміну для різних режимів течії запропоновано в роботі [7]. Питання оптимізації розташування водоживильника в системах водопостачання та їх

структурне резервування з точки зору надійності функціонування системи розглянуто в роботах [5; 6]. Використання нечітких та інтервальних чисел і множин дозволяє відобразити невизначеність інформації на базі експертних оцінок та розвинути моделювання у напрямку врахування цієї невизначеності [8 – 10].

### Мета статті

Мета статті – розробка способу прив'язки зосереджених споживачів ЦП до мереж різних категорій при кількох критеріях якості в умовах нечіткості початкових даних. Робота є розвиненням думок, що викладені у статті [10], де було розглянуто дві моделі. Перша – багатокритеріальна при двох конкуруючих мережах, друга – однокритеріальна при кількох конкуруючих мережах.

### Виклад основного матеріалу

При виборі схеми підключення зосереджених споживачів до мереж різних категорій треба дати відповідь на багато питань:

- вартість побудови спеціального підведення;
- вартість перекладання труб;
- вартість земляних робіт;
- вартість ізоляційних робіт;
- вартість спорудження додаткових джерел постачання (ГРП, ШРП тощо);
- матеріаломісткість системи;
- довжина мережі, що закладається наново або перекладається;
- насиченість транспортних мереж інженерними комунікаціями;
- підвищена небезпека проведення робіт;
- наявність дублюючих мереж для окремих споживачів;
- експлуатаційні витрати;
- екологічна безпека;
- безпека функціонування зосереджених споживачів;
- надійність забезпечення ЦП зосереджених споживачів;
- наявність резервних можливостей;
- оцінка можливостей подальшого розвитку системи;
- соціальний ефект тощо.

Тобто поставлена задача є багатокритеріальною з невизначеністю інформації та обмеженнями на умови експлуатації мережі. Побудуємо нечітку модель задачі з кількома критеріями якості та більше ніж двома мережами різних категорій.

Нехай  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – множина  $n$  зосереджених споживачів ЦП,  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_K\}$  –

множина  $K$  критеріїв якості, за якими відбувається прив'язка споживачів ЦП до мереж різних категорій,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$  – множина мереж  $m$  різних категорій, до яких відбувається прив'язка зосереджених споживачів.

Цільова функція задачі може бути записана  $G(X, Y) \rightarrow \max$ , вона визначена на двох бінарних відношеннях  $D_1, D_2$ .

Побудуємо ці бінарні відношення.

Перше –  $D_1 = X \times G$ , яке можна представити у матричній формі

$$D_1 = \begin{pmatrix} \mu_{D_1}(x_1, G_1) & \dots & \mu_{D_1}(x_1, G_K) \\ \mu_{D_1}(x_2, G_1) & \dots & \mu_{D_1}(x_2, G_K) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_{D_1}(x_n, G_1) & \dots & \mu_{D_1}(x_n, G_K) \end{pmatrix},$$

де  $\mu_{D_1}(x_i, G_k), i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, K$  – функція належності нечіткого бінарного відношення  $D_1$ . На практиці  $\mu_{D_1}(x_i, G_k)$  означає рівень значущості критерія  $G_k (k = 1, 2, \dots, K)$  для зосередженого споживача  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ .

Друге –  $D_2 = G \times Y$ , яке можна представити у матричній формі

$$D_2 = \begin{pmatrix} \mu_{D_2}(G_1, y_1) & \dots & \mu_{D_2}(G_1, y_m) \\ \mu_{D_2}(G_2, y_1) & \dots & \mu_{D_2}(G_2, y_m) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_{D_2}(G_K, y_1) & \dots & \mu_{D_2}(G_K, y_m) \end{pmatrix},$$

де  $\mu_{D_2}(G_k, y_j), k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, m$  – функція належності нечіткого бінарного відношення  $D_2$ . На практиці  $\mu_{D_2}(G_k, y_j)$  означає рівень сумісності мережі категорії  $y_j (j = 1, 2, \dots, m)$  з критерієм  $G_k (k = 1, 2, \dots, K)$ .

При перемноженні матриць  $D_1$  та  $D_2$  отримаємо матрицю, що характеризує рівень переваги тієї чи іншої мережі для кожного зосередженого споживача. Щоб їх порівнювати між собою, результати перемноження є сенс віднормувати за допомогою степеня нечіткої підмножини [11]  $\sum_{k=1}^K \mu_{D_1}(x_i, G_k), i = 1, 2, \dots, n$ , яка є показником кількості критеріїв якості, що є важливими для зосередженого споживача  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ .

Тоді результуюча матриця має вигляд

$$D = \begin{pmatrix} \mu_{A_1}(x_1, y_1) & \dots & \mu_{A_m}(x_1, y_m) \\ \mu_{A_1}(x_2, y_1) & \dots & \mu_{A_m}(x_2, y_m) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_{A_1}(x_n, y_1) & \dots & \mu_{A_m}(x_n, y_m) \end{pmatrix},$$

$$\text{де } \mu_{A_j}(x_i, y_j) = \frac{\sum_{k=1}^K \mu_{D_1}(x_i, G_k) \cdot \mu_{D_2}(G_k, y_j)}{\sum_{k=1}^K \mu_{D_1}(x_i, G_k)},$$

$$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m.$$

Функція належності  $\mu_{A_j}(x_i, y_j)$  може бути інтерпретована як зважений рівень переваги мережі  $y_j$  відповідної категорії зосередженим споживачем  $x_i$ . Функції належності на практиці носять монотонний характер, що робить можливим говорити про опуклий характер нечіткої підмножини, а саме про виконання визначення опуклості

$$\begin{aligned} \mu_{A_j}(\lambda(x_s, y_j) + (1 - \lambda)(x_t, y_j)) &\geq \\ &\geq \min(\mu_{A_j}(x_s, y_j), \mu_{A_j}(x_t, y_j)), \\ \forall s, t = 1, 2, \dots, n, s \neq t, \lambda \in [0; 1]. \end{aligned}$$

Оскільки всі  $\mu_{A_j}(x_i, y_j)$  є опуклими, то їх перетини також є опуклими, що дозволяє побудувати матрицю

$$A = \begin{pmatrix} \mu_{A_1}(x_1, y_1) \wedge \mu_{A_2}(x_1, y_2) \\ \mu_{A_1}(x_2, y_1) \wedge \mu_{A_2}(x_2, y_2) \\ \dots \\ \mu_{A_1}(x_n, y_1) \wedge \mu_{A_2}(x_n, y_2) \\ \mu_{A_1}(x_1, y_1) \wedge \mu_{A_3}(x_1, y_3) \dots \\ \mu_{A_1}(x_2, y_1) \wedge \mu_{A_3}(x_2, y_3) \dots \\ \dots \\ \mu_{A_1}(x_n, y_1) \wedge \mu_{A_3}(x_n, y_3) \dots \\ \mu_{A_{m-1}}(x_1, y_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_1, y_m) \\ \mu_{A_{m-1}}(x_2, y_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_2, y_m) \\ \dots \\ \mu_{A_{m-1}}(x_n, y_{m-1}) \wedge \mu_{A_j}(x_n, y_m) \end{pmatrix}.$$

Як правило, одного й того ж зосередженого споживача можуть обслуговувати різні мережі. Для розділення зосереджених споживачів поміж мереж різних категорій на базі теореми про відокремленість [11] вводиться поняття порога роздільності  $l$ , що оцінюється таким чином:

$$l < \min_{ij} \max_x \min(\mu_{A_i}(x, y_i), \mu_{A_j}(x, y_j)).$$

Якщо поріг роздільності вибрано, то розподілення зосереджених споживачів серед мереж різних категорій відбувається за наступним критерієм

$$M_j = \left\{ x_i \mid \mu_{A_j}(x_i, y_j) \geq l, i = 1, 2, \dots, n \right\},$$

$$j = 1, 2, \dots, m,$$

де  $M_j$  – множина зосереджених споживачів, які прив'язані до мережі  $j$ -ї категорії.

Якщо частина зосереджених споживачів віднесена до кількох мереж різних категорій, то для них можливі додаткові дослідження. Особливо важливих споживачів є сенс підключити до кількох мереж з метою забезпечення надійності функціонування. Задаючи різні пороги роздільності, можна розрахувати варіанти прив'язки споживачів ЦП до мереж різних категорій.

## Висновки

Побудовано математичну модель задачі прив'язки споживачів ЦП до мереж різних категорій в умовах невизначеності інформації, що виражена через нечіткі множини, які є сенс отримувати за рахунок експертної думки.

Модель розроблена для випадку, коли розподілення споживачів відбувається між мережами кількох категорій за більш ніж двома критеріями якості, що узагальнює характер задачі, яка розглядалась в роботі [10].

## Список літератури

1. Предун К.М. Аналіз стану інженерних мереж та можливостей їх використання для потреб теплопостачання населених пунктів України / К.М. Предун // Вентиляція, освітлення та теплозапостачання. – 2012. – № 16. – С. 67-71.

2. Насонкіна Н.Г. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання / Н.Г. Насонкіна, В.В. Дорофійенко, В.М. Маслюк, С.С. Антоненко, В.М. Сахновська // *Водопостачання та водовідведення*. – 2009. – № 2. – С. 2-8.
3. Демченко В.В. Переваги онтологічного підходу до розподіленого моделювання інженерних та транспортних мереж / В.В. Демченко // *Містобудування та територіальне планування*. – 2008. – № 29. – С. 79-83.
4. 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.
5. Новохатній В.Г. Структурне резервування в мережах водопостачання розгалуженого типу / В.Г. Новохатній, О.В. Матяш // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. – 2009. – № 13. – С. 34-41.
6. Новохатній В.Г. Оптимізація з умов надійності розташування водоживильника в системах водопостачання / В.Г. Новохатній, О.В. Матяш // *Науковий вісник будівництва*. – 2007. – № 44. – С. 227-232.
7. Никитенко Н. И. Метод численного моделирования трехмерного тепло- и массообмена при различных режимах течения / Н. И. Никитенко, Ю. Н. Кольчик, Н. Н. Сорокова // *Вентиляция, освещения та теплогазопостачання*. – 2015. – № 18. – С. 75-84.
8. Полтораченко Н.І. Задача розміщення в умовах невизначеності інформації / Н.І. Полтораченко // *Управління розвитком складних систем*. – 2013. – № 13. – С. 126-129.
9. Полтораченко Н.І. Нечітка багатокритеріальна задача розміщення / Н.І. Полтораченко // *Управління розвитком складних систем*. – 2014. – № 17. – С. 121-124.
10. Полтораченко Н.І. Нечітка модель прив'язки споживачів до мереж різних категорій / Н.І. Полтораченко // *Управління розвитком складних систем*. – 2015. – № 21. – С. 145-148.
11. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник. – К., 2000. – 688 с.

Стаття надійшла до редколегії 14.11.2016

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

#### **Полтораченко Наталья Ивановна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, [orcid.org/0000-0002-2238-6130](https://orcid.org/0000-0002-2238-6130)  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

#### **ЗАДАЧА НЕЧЕТКОЙ ПРИВЯЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К СЕТЯМ РАЗНЫХ КАТЕГОРИЙ**

**Аннотация.** Рассмотрена задача привязки сосредоточенных потребителей к сетям разных категорий при проектировании инженерных сетей. Математическая модель задачи содержит несколько критериев качества и сети более чем двух категорий. Объективная неопределенность информации на начальных этапах проектирования выражена через два нечетких бинарных отношения. Первое отражает связь между сосредоточенными потребителями и критериями качества, где функция принадлежности нечеткого бинарного отношения на практике означает уровень значимости критерия для сосредоточенного потребителя. Второе отображает связь между критериями качества и сетями разных категорий, где функция принадлежности нечеткого бинарного отношения на практике означает уровень совместимости сети той или иной категории с критерием качества. Отнормированное произведение этих бинарных отношений отображает уровень приоритетов сетей для сосредоточенных потребителей. В работе предложено ввести порог раздельности. Он позволяет рассчитать разные варианты привязки сосредоточенных потребителей в зависимости от его значения.

**Ключевые слова:** инженерная сеть; математическая модель; многокритериальная задача; нечеткие множества

#### **Poltorachenko Natalia**

PhD, Docent, associate professor at Information technologies of Design and applied mathematics department, [orcid.org/0000-0002-2238-6130](https://orcid.org/0000-0002-2238-6130)  
Kyiv National University of Building and Architecture, Kyiv

#### **PROBLEM OF FUZZY CONSUMES CONNECTION TO THE NETWORKS WITH DIFFERENT CATEGORIES**

**Abstract.** The problem of binding of concentrated consumers to the networks of different categories in engineering network design is considered. The mathematical model of this problem includes several criteria for quality as well as more than two categories of networks. The objective uncertainty of the information in the initial phase of the design is expressed through two fuzzy binary relations. The first one of these relations reflects the relation between concentrated consumers and criteria for

quality and its mathematical function reflects the level of criterion significance for concentrated consumers in practice. The second one reflects the relation between criteria for quality and networks of different categories and its mathematical function in practice reflects the level of network compatibility with criterion for quality. Normalized product of these binary relations expresses the advantages of different categories of networks for concentrated consumers. The necessity for normalization is caused by the need for comparison of these advantages therefore the appropriate resolution threshold is proposed. It allows the calculation of assorted variants of binding of concentrated consumers, according to its value. It is also proposed to bind certain amount of consumers to more than one network to assure the reliability of network functioning.

**Keywords:** *engineering network; mathematical model; multiple-criteria problem; fuzzy sets*

#### References

1. Predun, K.M. (2012). Analysis of engineering networks and the possibility of using them in heating networks design for living areas in Ukraine. *Ventilation, lighting, heating and gas supply*, 16, 67-71.
2. Nasonkina, N.G., Dorofijenko, V.V., Masluk, V.M., Antonenko, S.Y., Sakhnovska, V.M. (2009). Municipal water supply monitoring and reformation strategy. *Water supply and leading away of water*, 2, 2-8.
3. Demchenko, V.V. (2008). Benefits of ontological approach to dispersed modeling of engineering and transport systems. *City planning and territorial planning*, 29, 79-83.
4. Mykhailenko, V.M., Anpilogov, J.P., Kosharna, J.V. (2007). Implementation of functional dynamic schemes of city water supply engineering network modeling. *Problems of water supply, leading away of water and hydraulics*, 27, 8-13.
5. Novohatny, V.G. (2009). Structural back-up in branched type of water supply. *Problems of water supply, leading away of water and hydraulics*, 13, 34-41.
6. Novohatny, V.G., Matyash O.V. (2007). Optimization of reliability of water feeder localization in water supply network. *Scientific herald of construction*, 44, 227-232.
7. Nikitenko, N.I., Kolchuk, J.N., Sorokovaya, N.N. (2015). Numerous modeling methodology for threedimensional heat exchange and mass transfer in different flow regimes. *Ventilation, lighting, heating and gas supply*, 18, 75-84.
8. Poltorachenko, N.I. (2013). The problem of location in conditions of informational indetermination. *Management of development of complex systems*, 13, 126-129.
9. Poltorachenko, N.I. (2014). Fuzzy multiple-criteria problem of location. *Management of development of complex systems*, 17, 121-124.
10. Poltorachenko N.I. (2015). Fuzzy model of consumers connection to the networks with different categories. *Management of development of complex systems*, 21, 145-148.
11. Zajchenko, Y.P. (2000). *Operations research*, 688.

---

#### Посилання на публікацію

- APA Poltorachenko, N.I. (2016). Problem of fuzzy consumers connection to the networks with different categories. *Management of Development of Complex Systems*, 28, 142 – 146.
- ДСТУ Полтораченко Н.І. Задача нечіткої прив'язки споживачів до мереж різних категорій [Текст] / Н.І. Полтораченко // *Управління розвитком складних систем*. – 2016 . – № 28. – С. 142 – 146.