

УДК 519.6

Полтораченко Наталія Іванівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ПРИВ'ЯЗКИ СПОЖИВАЧІВ
ДО МЕРЕЖ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ**

***Анотація.** Розглянуто задачу прив'язки споживачів до мереж різних категорій при проектуванні інженерної мережі з кількома критеріями якості та нечіткими числами, які виражають невизначеність даних. Побудовано дві математичні моделі задачі, запропоновано способи їх розв'язання.*

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

Постановка проблеми

Системи комунального господарства (водо-, тепло-, газопостачання) у сучасних умовах характеризуються як збільшенням об'ємів використання цільового продукту (вода, газ, теплоносій) у наявних системах на фоні вимог скорочення цього споживання (потреба реконструкції), так і подальшою газифікацією, теплофікацією тощо нових територій [1; 2]. Транспортування та розподіл цільового продукту (ЦП) інженерними мережами (ІМ) потребує 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 у процесі проектування на основі прогнозування експлуатаційних процесів. А такі прогнози є оціночними, тобто інформація має характер невизначеності.

**Аналіз останніх досліджень
і публікацій**

Задача проектування нових або реконструкції старих ІМ є багатокритеріальною та багатовимірною, що потребує нових підходів до її розв'язання. Необхідність одночасного урахування як детерміністських даних, так і тих, що можуть змінюватися з плином часу – це чи не одна з головних проблем сучасного моделювання мереж комунального господарства [3]. Застосування

функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі розглянуто у статті [4]. Використання нечітких та інтервальних чисел і множин дозволяє відобразити невизначеність інформації на базі експертних оцінок та розвинути моделювання у напрямку врахування цієї невизначеності [5 – 8].

Мета статті

Мета статті – розробка способу прив'язки споживачів ЦП до мереж різних категорій при кількох критеріях якості та невизначеності інформації. Найбільш актуальною ця проблема є для мереж газопостачання, які поділяються на мережі високого, середнього та низького тиску. Але конкурентність за споживачів не виключена і для інших видів ІМ, що стає актуальним для потреб економії ЦП.

Виклад основного матеріалу

При виборі оптимальної схеми підключення зосереджених споживачів до мереж різних категорій тиску зазвичай розв'язується питання: чи підключити споживача до газопроводу з більшим ступенем тиску (високого або середнього), для чого треба побудувати спеціальний підвід, чи підключити його до газопроводу з меншим ступенем тиску (низького), для чого треба збільшити діаметр труб (тобто вартість) без збільшення довжини. До того ж, у першому випадку необхідно врахувати капітальні вкладення у нові газорегуляторні пункти, що в разі необхідності встановлюються у споживача. Додатково можуть бути враховані й інші критерії якості (зростання матеріаломісткості системи при загальному зниженні вартості будівництва, насиченість транспортних мереж інженерними комунікаціями,

підвищена безпека проведення робіт, наявність дублюючих мереж для окремих споживачів та інше).

Окрім факторів економічності розподільчих систем та виконання вимог техніки безпеки, необхідно враховувати умови експлуатації газифікованих об'єктів. Так, у випадках підключення великих споживачів газу до мереж низького тиску можуть виникнути загрози нестационарні режими. Тобто поставлена задача є багатокритеріальною з невизначеністю інформації та обмеженнями на умови експлуатації мережі.

Побудуємо математичну модель задачі. Введемо бульові змінні $x_i (i=1,2,\dots,n)$. Кожна змінна x_i відповідає великому споживачеві i та $x_i=0$, якщо великий споживач є підключеним до мережі низького тиску, а $x_i=1$, якщо великий споживач є підключеним до мережі високого тиску.

Нехай маємо K критеріїв якості $G_k (k=1,2,\dots,K)$. Введемо функцію належності $\mu_{G_k}(x_i)$, що відображає ступінь корисності того чи іншого значення $x_i (i=1,2,\dots,n)$ за критерієм якості $G_k (k=1,2,\dots,K)$. Застосувавши схему Беллмана-Заде [9], отримуємо для кожного великого споживача i таку залежність:

$$\sum_{k=1}^K \beta_k G_{G_k}(x_i) \rightarrow \max'$$

де

$$\sum_{k=1}^K \beta_k = 1, \quad \beta_k (k=1,2,\dots,K) - \text{ваговий коефіцієнт}$$

відповідного критерію.

Для всієї задачі узагальнений критерій якості набуде вигляд:

$$\min_i \sum_{k=1}^K \beta_k G_{G_k}(x_i) \rightarrow \max.$$

Розглянемо обмеження. Нехай задано максимальне навантаження на мережу низького тиску H_{\max} та максимальне навантаження для кожного споживача через функції $H_i(x_i)$. Тоді обмеження на умови експлуатації інженерної мережі набуде вигляд:

$$\sum_{i=1}^n H_i(x_i) \leq H_{\max}.$$

Розрахуємо для кожного значення x_i показники:

$$\mu_i^0 = \sum_{k=1}^K \beta_k G_{G_k}(x_i) \text{ при } x_i = 0,$$

$$\mu_i^1 = \sum_{k=1}^K \beta_k G_{G_k}(x_i) \text{ при } x_i = 1,$$

$$H_i^0 = H_i(x_i) \text{ при } x_i = 0,$$

$$H_i^1 = H_i(x_i) \text{ при } x_i = 1.$$

Тоді модель задачі прив'язки споживачів до мереж різних категорій прийме вигляд:

$$\min_i (\mu_i^0(1-x_i) + \mu_i^1 x_i) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{i=1}^n (H_i^0(1-x_i) + H_i^1 x_i) \leq H_{\max}.$$

Отримали задачу бульового програмування, для якої розроблені точні та наближені алгоритми розв'язку [9].

Побудована модель розроблена для випадку, коли вибір відбувається серед двох варіантів підключення, що дозволяє використати апарат бульового програмування. Розглянемо ситуацію для двох та більше варіантів підключення споживачів до мереж різних категорій, але спочатку на прикладі двох варіантів.

Нехай функція належності $\mu_{A_i}(x)$ описує ступінь корисності мережі категорії i для споживача X . Припустимо, що нечіткі підмножини A_1 та A_2 є опуклими, тобто виконується умова

$$\begin{aligned} \mu_{A_i}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) &\geq \\ &\geq \min(\mu_{A_i}(x_1), \mu_{A_i}(x_2)), \\ \forall x_1, x_2, \lambda \in [0;1]. \end{aligned}$$

Припущення про опуклість говорить, що характер зміни ступеня корисності є монотонним, а це відповідає реальній ситуації.

Оскільки A_1 та A_2 є обмеженими, то їх перетин $A_1 \cap A_2$ також є обмеженою та опуклою нечіткою підмножиною з функцією належності $\mu_{A_1 \cap A_2}(x)$.

Для розділення споживачів поміж двох мереж різних категорій на базі теореми про відокремленість [9] можна ввести поняття порога роздільності l , що оцінюється таким чином:

$$\begin{aligned} l &< \max_x \min(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x)) = \\ &= \sup_x \mu_{A_1 \cap A_2}(x). \end{aligned}$$

Обираючи різні значення l , можна отримати різні варіанти підключення споживачів.

Модель, що описана, може бути узагальнена для інженерних комунікацій, які містять довільну кількість мереж різних категорій. Нехай

A_1, A_2, \dots, A_m – обмежені опуклі нечіткі підмножини, що описують переваги через функції належності $\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_m}(x)$.

Тоді нечіткі підмножини

$$A_1 \cap A_2, A_1 \cap A_3, \dots, A_1 \cap A_m,$$

$$A_2 \cap A_3, \dots, A_{m-1} \cap A_m$$

будуть також опуклими та обмеженими. Застосовуючи теорему про відокремленість, за допомогою порога роздільності $l < \min_{ij} \max_x \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{A_j}(x))$ можна визначитися з категоріями мереж, до яких підключаються споживачі.

Висновки

Побудовано дві математичні моделі задачі прив'язки споживачів ЦП до мереж різних категорій в умовах невизначеності інформації, яка виражена через нечіткі числа та множини.

Перша модель розроблена для випадку, коли розподілення споживачів відбувається між мережами двох категорій, але враховує кілька критеріїв якості. Такий підхід дозволяє рішення багатокритеріальної задачі з невизначеністю звести до задачі бульового програмування, яка має багато методів розв'язку.

Друга модель розроблена для випадку, коли розподілення споживачів відбувається між мережами кількох категорій, але враховує тільки один критерій якості. Така модель не може слугувати основою для реального програмування, оскільки ключовий момент при проектуванні ІМ – багатокритеріальність. Але вона може бути використана на початкових етапах проектування як експертна оцінка, наприклад, за критерієм якості – капітальні вкладення. Питання багатокритеріальності при кількох конкуруючих мережах різних категорій потребує додаткових досліджень.

Список літератури

1. Атаманчук В.В. Особливості розвитку систем теплопостачання й шляхи їх оптимізації [Текст]: наук.-техн. зб. / Містобудування та територіальне планування. – К. : КНУБА, 2009. – № 35. – С. 25-33.
2. Насонкіна Н.Г. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання [Текст]: наук.-техн. зб. / Н.Г. Насонкіна, В.В. Дорофійенко, В.М. Маслюк, С.Є. Антоненко, В.М. Сахновська // Водопостачання та водовідведення. – К. : КНУБА, 2009. – № 2. – С. 2-8.
3. Демченко В.В. Переваги онтологічного підходу до розподіленого моделювання інженерних та транспортних мереж [Текст]: наук.-техн. зб. // Містобудування та територіальне планування. – К. : КНУБА, 2008. – № 29. – С. 79-83.
4. Михайленко В.М. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста [Текст]: наук.-техн. зб. / В.М. Михайленко, А.П. Анпілогов, Ю.В. Кошарна // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки. – К. : КНУБА, 2007. – № 27. – С. 8-13.
5. Полтораченко Н.І. Задача розміщення в умовах невизначеності інформації [Текст]: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА, 2013. – № 13. – С. 126-129.
6. Полтораченко Н.І. Задача параметричної оптимізації та нечіткі множини [Текст]: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА, 2010. – № 3. – С. 81-83.
7. Полтораченко Н.І. «Інтервальна» модель параметричної оптимізації інженерної мережі при довільній цільовій функції [Текст]: зб. наук. пр. / Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА, 2011. – № 7. – С. 118-120.
8. Полтораченко Н.І. Нечітка багатокритеріальна задача розміщення множини [Текст]: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА, 2014. – № 17. – С. 121-124.
9. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник. – К., 2000. – 688 с.

Стаття надійшла до редколегії 10.12.2014

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 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ПРИВЯЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К СЕТЯМ РАЗНЫХ КАТЕГОРИЙ

Аннотация. Рассмотрена задача привязки потребителей к сетям разной категории при проектировании инженерной сети с несколькими критериями качества и нечеткими числами, которые выражают неопределенность данных. Построены две математические модели задачи, предложены способы их решения.

Ключевые слова: инженерная сеть; математическая модель; многокритериальная задача; нечеткие числа

Poltorachenko Natalia

Ph.D., Associate Professor of Information Technology Design and Applied Mathematics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

FUZZY MODEL OF CONSUMERS CONNECTION TO THE NETWORKS WITH DIFFERENT CATEGORIES

Abstract. This work deals with the problem of consumers connection to the networks with different categories during the network engineering design with multiple quality criteria and fuzzy numbers that express ambiguous data. Two mathematical models of the problem are constructed. The first model was developed for the case where the distribution of consumers connection is between two categories of networks, but takes into account several quality criteria and limits on permissible network load. The model is based on the principle of Bellman-Zadeh with the introduction of Boolean variables. This approach allows the solution of multi objective problem with uncertainty to be reduced to the problem of Boolean programming. The second model is developed for the case where the distribution of consumers connection is between the networks with multiple categories, but considers only one criterion of quality. Priorities of consumers connection are expressed in terms of fuzzy number sets with their membership functions. The theorem of isolation is used, and separation threshold is introduced. This model can serve as a basis for real programming so as the key point is multiple criteria. Despite this fact, it can be used in the early designing stages as an expert judgment for the criterion of quality – capital investments.

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

References

1. Atamanchuk, V. V. (2009). Special feature of heat supply systems and their optimization. *City planning and territorial planning*: 35, 25-33.
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. Anpilogov, P. I., Mykhailenko, V. M., Anpilogov, A. 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. Poltorachenko, N. I. (2013). The problem of location in conditions of informational indetermination. *Management of development of difficult systems. Kyiv, Ukraine*: 13, 126-129.
6. Poltorachenko, N. I. (2010). The problem of parameters optimization and fuzzy sets Management of development of difficult systems. *Kyiv, Ukraine*: 3, 81-83.
7. Poltorachenko, N. I. (2011). Interval model of parameters optimization for the engineering network with arbitrary target function. *Management of development of difficult systems. Kyiv, Ukraine*: 7, 118-120.
8. Poltorachenko, N. I. (2014). Fuzzy multiple-criteria problem of location. *Management of development of difficult systems. Kyiv, Ukraine*: 17, 121-124.
9. Zajchenko, Y. P. (2000). *Operations research*, 688.

Посилання на публікацію

APA Poltorachenko N. I. (2015). Fuzzy model of consumers connection to the networks with different categories. *Management of Development of Complex Systems, Issue 21, P. 145 – 148 [in Ukrainian]*.

ГОСТ Полтораченко Н.І. Нечітка модель прив'язки споживачів до мереж різних категорій [Текст] / Н.І. Полтораченко // Управління розвитком складних систем. – 2015. - № 21. – С. 145 - 148.