

Наталія Іванівна Полтораченко

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

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***НЕЧІТКА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ЗАДАЧА РОЗМІЩЕННЯ**

Розглянуто задачу розташування джерел цільового продукту при проектуванні інженерної мережі з взаємозалежними критеріями якості та нечіткими числами, які виражають невизначеність даних. Побудовано графічну модель задачі, графічну модель взаємозалежних критеріїв якості, запропоновано декомпозицію обчислення функцій належності критеріїв якості.

Ключові слова: інженерна мережа, математична модель, багатокритеріальна задача, нечіткі числа

Рассмотрена задача размещения источников целевого продукта при проектировании инженерной сети с взаимозависимыми критериями качества и нечеткими числами, которые выражают неопределенность данных. Построена графическая модель задачи, графическая модель взаимозависимых критериев качества, предложена декомпозиция вычисления функций принадлежности критериев качества.

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

The subject of this paper is the problem of the source location for the target product in the design of engineering networks with interdependent quality criteria and fuzzy numbers that represent the uncertainty of data. Numerical intervals and their functions appliance are formed on the basis of expert appraisals. A graphical simulator of the problem is constructed. It represents all possible alternative sources of the target product at all stages of the engineering network construction as well as the arcs which represent allowable sequence of input sources. Applicable function that characterizes the level of consumer support with software product is ascribed to each arc. The functions of arc appliance that lead to stock describe the level of achievement of objectives. The Bellman-Zadeh scheme is used for this simulation applies, but given the interdependence of quality criteria. For this modification a graphical simulation is built and proposed decomposition computing functions of quality criteria. After applying the decomposition of functions of criteria appliance calculation is also proposed. The restrictions to the use of mentioned decomposition is also proposed, namely, the graph does not contain contour, functions of the quality criteria calculations are continuous and constantly increasing, fuzzy sets are convex, closed, and limited.

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

Постановка проблеми

Сучасний стан систем комунального господарства (водо-, тепло-, газопостачання) відрізняється високою динамікою розвитку, що характеризується як збільшенням об'ємів використання цільового продукту (вода, газ, теплоносій) в наявних системах (потреба реконструкції), так і подальшою газифікацією, теплофікацією і т.д. нових територій [1; 2; 3]. Транспортування та розподіл цільового продукту (ЦП) інженерними мережами (ІМ) вимагає великих фінансових та матеріальних витрат. Друга 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проектування нових та реконструкція старих ІМ є багатокритеріальною і багатовимірною задачею, яка вимагає нових підходів до її

розв'язання, необхідності одночасного урахування як детерміністських даних, так і тих, що можуть змінюватися з плином часу [4]. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі розглянуто у статті [5]. Використання нечітких та інтервальних чисел дає змогу відобразити невизначеність інформації на базі експертних оцінок [6; 7; 8].

Мета статті

Метою статті є розробка способу розв'язання задачі розташування джерел ЦП, що є одним з етапів проектування ІМ, при взаємозалежних критеріях якості та нечіткості вихідної інформації.

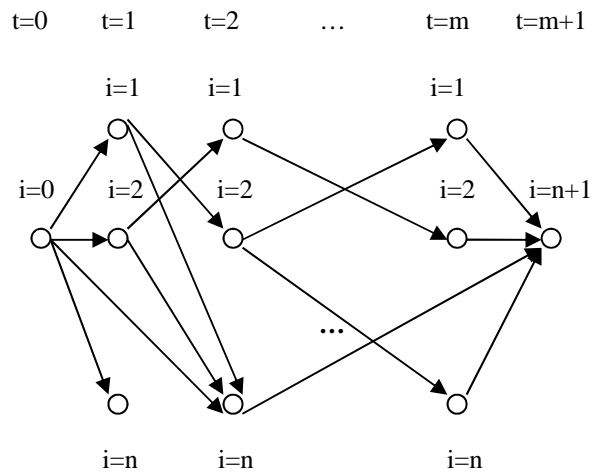
Стаття продовжує дослідження, які наведені в роботі [6], де запропоновано три підходи до розв'язання задачі залежно від способу представлення даних при незалежних критеріях якості.

Виклад основного матеріалу

Інженерна мережа відповідає всім ознакам складних систем. Тому процес її проектування поділяється на етапи, одним з яких є визначення місць розташування та моментів вводу джерел ЦП. Джерелами ЦП виступають водозабірні споруди на поверхневих та підземних водах, теплоелектроцентралі, котельні великої потужності, пункти для утилізації теплових відходів промисловості, газорозподільні станції. У процесі проектування треба враховувати не тільки капітальні витрати, надійність забезпечення споживачів, маневреність мережі, але й більш детальні характеристики: мінімальну довжину мереж, прямолінійність, категорію ґрунтів, наявність комунікацій, індустріальність робіт, вартість окремих параметрів (наприклад, металоємність), екологічні вимоги, архітектурно-планувальні рішення і т.д. Всі ці характеристики можуть виступати критеріями якості при формалізації задачі, що робить її багатокритеріальною задачею математичного програмування із складнодетермінованими даними та взаємозалежними критеріями.

Розглянемо графічну модель задачі. Моменти підключення нових споживачів до ІМ визначають періоди розвитку ІМ ($t=1,2,\dots,m$). Нехай у ролі альтернативи розглядається спорудження одного або кількох джерел ЦП ($i=1,2,\dots,n$), кожна альтернатива ставиться у відповідність кожному періоду t , що на графі зображується вершиною i_t . Додатково вводяться ще дві вершини – виток ($i=0, t=0$) та стік ($t=m+1, i=n+1$). Дуги відображають допустимі послідовності введення джерел ЦП (наприклад, якщо на першому періоді вводиться об'єкт №1, а на другому – об'єкт №2, то дуга

проводиться від альтернативи з об'єктом №1 першого періоду до альтернативи з об'єктами №1 та №2 другого періоду):



Якщо експертні оцінки дозволяють вказати не тільки інтервали можливих значень вихідних даних, але й ступінь їх достовірності, то задачу розташування джерел ЦП можна розглянути з точки зору теорії нечітких множин. Застосуємо схему Беллмана-Заде [10]:

$$J = G_1 \cap \dots \cap G_K \cap C_1 \cap \dots \cap C_R,$$

де G_k – нечітка підмножина цілі $k(k=1,2,\dots,K)$;

C_r – нечітка підмножина обмеження $r(r=1,2,\dots,R)$.

Кожній дузі приписується функція належності $\mu_{i,j_p}(x)$, що характеризує рівень забезпечення споживачів ЦП. Виключення становлять дуги, що ведуть до стоку. Функція $\mu_{i,(n+1)(m+1)}(x)$ характеризує рівень досягнення цілі. Оскільки задача є багатокритеріальною, то є сенс ввести вагові коефіцієнти $\beta_k(k=1,2,\dots,K)$:

$$G = \sum_{k=1}^K \beta_k G_k, \text{ де } \sum_{k=1}^K \beta_k = 1.$$

Значення $\mu_{i,j_p}(x)$ та $\mu_{i,(n+1)(m+1)}(x)$ отримаємо таким чином:

$$\mu_{i,j_p}(x) = \min \{ \mu_{A_{j_p}}(x), \mu_{C_p}(x) \},$$

$$\mu_{i,(n+1)(m+1)}(x) = \sum_{k=1}^K \beta_k \min \{ \mu_{G_k}(x), \mu_{A_{ki}}(x) \},$$

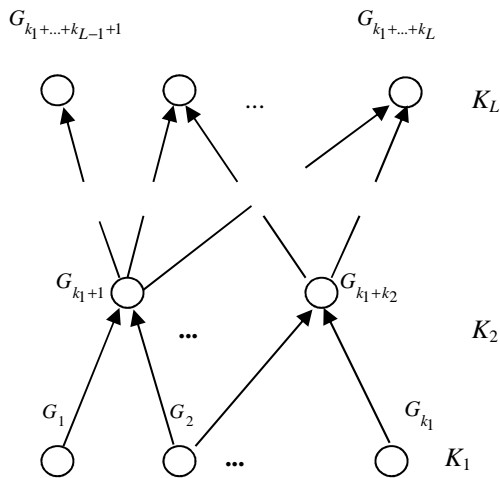
де A_{j_p} – нечітка підмножина рівня забезпечення споживачів ЦП на етапі p за альтернативи j ;

A_{k_i} – нечітка підмножина інтервалу, що відповідає критерію G_k за альтернативи i_t ;

C_p – нечітка підмножина обмеження, що відповідає етапу p .

Значення області визначення x необхідно попередньо віднормувати заради можливості порівняння.

Побудована модель відповідає задачі з незалежними критеріями якості. Випадок з взаємозалежними критеріями якості вимагає додаткових досліджень. Представимо цю залежність у вигляді графа:



Вершинам графа відповідають критерії якості, а дугам – безпосередні зв'язки між критеріями. Якщо припустити відсутність контурів, то можна виділити ієрархічні рівні K_1, K_2, \dots, K_L , на які розбито вершини. Кожному рівню K_l відповідає k_l вершин ($\sum_{l=1}^L k_l = K$). Тоді функціональні зв'язки між рівнями запишуться таким чином:

$$x_{k_l+s} = f_{k_l+s}(x_{k_{l-1}+1}, x_{k_{l-1}+2}, \dots, x_{k_{l-1}+k_l}),$$

$$l = 2, \dots, L-1; s = 1, \dots, k_{l+1}.$$

Наявність вищенаведених зв'язків обумовлює задання функцій $\mu_{A_{k_i}}(x)$ лише для $k = 1, \dots, k_1$.

Функції $\mu_{G_k}(x)$ задані для всіх $k = 1, \dots, K$. Тоді обчислення функцій $\mu_{i_t(n+1)(m+1)}(x)$ треба вести з урахуванням нових функціональних залежностей.

Для цього розглянемо схему декомпозиції, що запропонована в роботі [9]. Якщо відомі функціональні залежності $\mu_{A_{k_i}}(x)$ для рівня K_l , то для K_{l+1} вони можуть бути визначені за принципом узагальнення Заде:

$$\mu_{A_{k_l+s}}(x) = \max_{x_{k_{l-1}+1}, \dots, x_{k_l}; x_{k_l+s} = f_{k_l+s}(x_{k_{l-1}+1}, \dots, x_{k_{l-1}+k_l})} \min(\mu_{A_{k_{l-1}+1}}, \dots, \mu_{A_{k_{l-1}+k_l}}).$$

За отриманими значеннями $\mu_{A_{k_i}}(x)$ для всіх рівнів K_l ($l = 1, \dots, L$) визначається функція $\mu_{i_t(n+1)(m+1)}(x)$.

Після застосування запропонованої схеми визначення функцій належності розв'язок задачі зводиться до пошуку на графі шляху найбільшої пропускної спроможності [5].

Висновки

Побудовано математичну модель задачі розташування джерел ЦП при проектуванні ІМ для випадку взаємозалежних критеріїв якості та запропоновано схему її декомпозиції. В загальному випадку схема не є адекватною розв'язку задачі побудови функціональної залежності $\mu_{i_t(n+1)(m+1)}(x)$ за обмежень для x_{k_l+s} , але виконання трьох умов робить актуальним її застосування до практичних задач, а саме:

- граф критеріїв якості не містить контурів;
- функції f_{k_l+s} ($l = 2, \dots, L-1; s = 1, \dots, k_{l+1}$) є неперервними та монотонно зростаючими за кожним зі своїх критеріїв;
- нечіткі множини A_{k_i} та G_k є опуклими, замкненими та обмеженими.

Список літератури

1. Атаманчук В.В., Особливості розвитку систем теплопостачання й шляхи їх оптимізації // Містобудування та територіальне планування / В.В. Атаманчук: Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2009. – Вип.35. – С. 25-33.
2. Храменков С.В. Стратегія модернізації водопроводної мережі / С.В. Храменков. – М.: Стройиздат, 2005.
3. Стратегія проведення моніторингу й реформування систем муніципального водопостачання // Водопостачання та водовідведення / Н.Г. Насонкіна, В.В. Дорофійенко, В.М. Маслюк, С.С. Антоненко, В.М. Сахновська – К.: 2009. – №2. – С. 2-8.

4. Демченко В.В. Переваги онтологічного підходу до розподіленого моделювання інженерних та транспортних мереж // Містобудування та територіальне планування: В.В. Демченко *Наук.-техн.збірник.* – К.: КНУБА, 2008. – Вип.29. – С. 79-83.
5. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: П.І. Анпілогов, В.М. Михайленко, А.П. Анпілогов, Ю.В. Кошарна. *Наук.-техн.збірник.* – К.: КНУБА, 2007. – Вип.27. – С. 8-13.
6. Полтораченко Н.І. Задача розміщення в умовах невизначеності інформації // Управління розвитком складних систем: Н.І.Полтораченко: *Збірник наукових праць.* – К.: КНУБА, 2013. – Вип.13. – С. 126-129.
7. Полтораченко Н.І. Задача параметричної оптимізації та нечіткі множини // Управління розвитком складних систем: Н.І.Полтораченко. *Збірник наукових праць.* – К.: КНУБА, 2010. – Вип.3. – С. 81-83.
8. Полтораченко Н.І. «Інтервальна» модель параметричної оптимізації інженерної мережі при довільній цільовій функції // Управління розвитком складних систем: Н.І.Полтораченко. *Збірник наукових праць.* – К.: КНУБА, 2011. – Вип.7. – С. 126-129.
9. Макеєв С.П. Декомпозиція задачі вычисления функции от взаимодействующих нечетких переменных // Известия АН СССР. Техническая кибернетика: С.П. Макеєв. *Сборник научных трудов.* – М., 1990. – Вып. 5. – С. 207-211.
10. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій / Ю.П. Зайченко: *Підручник.* – К., 2000. – 688 с.

References

1. Atamanchuk, V.V. (2009). *Special feature of heat supply systems and their optimization. City planning and territorial planning*, 35, 25-33.
2. Khranchenko, C.V. (2005). *Water supply network modernization strategy. Moscow, Russia: Stroyizdat*, 34-39.
3. Nasonkina, N.G., Dorofjenko, 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.
4. Demchenko, V.V. (2008). *Benefits of ontological approach to dispersed modeling of engineering and transport systems. City planning and territorial planning*, 29, 79-83.
5. 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, p.8-13.
6. Poltorachenko, N.I. (2013). *The problem of location in conditions of informational indetermination. Management of development of difficult systems*, 13, 126-129.
7. Poltorachenko, N.I. (2010). *The problem of parameters optimization and fuzzy sets Management of development of difficult systems*, 3, 81-83.
8. Poltorachenko, N.I. (2011). *Interval model of parameters optimization for the engineering network with arbitrary target function. Management of development of difficult systems*, 7, 118-120.
9. Makejev, S.P. (1990). *The problem of interacting fuzzy variables calculation decomposition. Ivestiya of Scientific academy of USSR. Engineering cybernetics. Moscow, Russia*, 5, p.207-211.
10. Zajchenko, Y. P. (2000). *Operations research*, 688.

Стаття надійшла до редколегії 10.02.2014

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